Библиотека СОК

УЧЕБНИКИ И УЧЕБНЫЕ ПОСОБИЯ ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

С. А. ВЕСЕЛОВ
КАНДИДАТ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ПРАКТИКУМ ПО ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ УСТАНОВКАМ

Издание второе,
переработанное и дополненное

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов высших технических учебных заведений

МОСКВА «КОЛОС» 1982

ББК 36.82
В38
УДК 664.047 : 621.63(075.8)

Рецензенты: *Г. Ф. Костюк*, доктор технических наук, профессор; *Н. П. Володин*, кандидат технических наук.

Веселов С. А.

В 38 Практикум по вентиляционным установкам.— 2-е изд. перераб. и доп.— М.: Колос, 1982.— 255 с, ил. — (Учебники и учеб. пособия для высш. учеб. заведений).

В учебном пособии для студентов вузов, готовящих специалистов для системы заготовок, изложены устройство лабораторных установок, стендов и контрольно-измерительных приборов, содержание и порядок выполнения работ по курсу «Вентиляционные установки». Изложена методика проектирования вентиляционных установок при выполнении курсовых и дипломных проектов. В отличие от первого издания (1967 г.) все единицы измерения приведены в системе СИ, материал обновлен, переработан и дополнен.

В $\frac{2903000000-100}{035(01)-82}$ 271—82.

ББК 36.82
6П8.1

© Издательство «Колос», 1982

Глава I

ОБОРУДОВАНИЕ ЛАБОРАТОРИЙ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

●

§ 1. Общие требования, предъявляемые к оборудованию лабораторий

Назначение лаборатории вентиляционных установок заключается в том, чтобы во время учебного процесса студенты имели возможность изучить устройство вентиляционных установок, приобрести практические навыки и опыт по использованию контрольно-измерительных приборов при регулировании, наладке и эксплуатации установок, углубить теоретические знания и подготовиться к проектированию установок и к выполнению научно-исследовательских работ.

Лаборатория вентиляционных установок, кроме выполнения учебных лабораторных работ, должна предусматривать возможность проведения научных исследований. Для проведения учебных лабораторных и научно-исследовательских работ лаборатория должна быть оборудована вентиляционными установками полупроизводственного типа и стендами с необходимыми контрольно-измерительными приборами.

Необходимая площадь помещения учебной лаборатории должна быть от 80 до 170 м^2.

При меньшей площади помещения лаборатории она может быть оборудована одной полупроизводственной вентиляционной установкой и одним или двумя стендами. Полупроизводственная установка должна предусматривать аспирацию не менее трех машин. Для очистки воздуха в этой установке можно применить одноступенчатую очистку со всасывающим фильтром 1БФМ-30 или двухступенчатую очистку вначале в батарее циклонов 4БЦШ-225, затем в фильтре 1БФМ-30. В этой установке может быть применен центробежный вентилятор № 3 с приводом, позволяющим изменять частоту вращения не менее чем в два раза.

Стенды этой лаборатории должны предусматривать возможность испытания вентилятора и циклонов, а также измерения запыленности воздуха.

При большей площади помещения лаборатория может быть оборудована двумя вентиляционными установками полупроизводственного типа и стендами. Первая установка может иметь батарейный циклон 4БЦШ-225 и аспирировать не менее двух или трех зерноочистительных машин. Вторая вентиляционная установка оборудуется всасывающим фильтром 1БФМ-30 для аспирации двух или трех машин размольного отделения.

Система воздухопроводов во всех установках и стендах должна иметь достаточную (не менее шести диаметров) длину прямых участков в местах замеров давлений.

В местах измерения давлений в воздухопроводах предусматривают штуцера и специальные отверстия с заглушками. Около мест измерения оборудуют лабораторные столы с микроманометрами и пневмометрическими трубками, не менее шести на каждую установку.

Остальные контрольно-измерительные приборы лаборатории — барометры, микроманометры, термометры, психрометры, гигрометры, анемометры, тахометры — размещают на специальных щитах на стенах, столах и в шкафах.

Приборы для измерения запыленности воздуха размещают на специальном стенде.

§ 2. Устройство лабораторий вентиляционных установок

Устройство лабораторий зависит от площади помещения, наличия вентиляционного, технологического, транспортного оборудования и контрольно-измерительных приборов, а также от творческой инициативы преподавателей и сотрудников кафедры.

Устройство лаборатории вентиляционных установок кафедры ТОПХПЗ МТИПП на площади помещения 80 м^2 размером 12,2×6,5 м показано на рисунках 1, 2 и 3.

Лаборатория оборудована одной вентиляционной установкой (рис. 1) полупроизводственного типа с центробежным вентилятором *1*, который аспирирует дисковый триер *6*, башмак и головку нории *15*. В лаборатории также имеется стенд для испытания циклона *7*

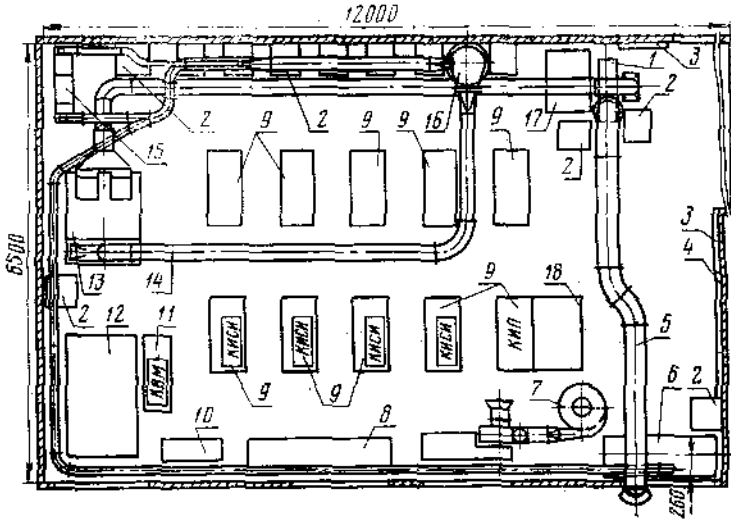


Рис. 1. Схема размещения оборудования в лаборатории вентиляционных установок МТИПП:

1 — центробежный вентилятор; *2* — лабораторные столы с КИП; *3* — щит с КИП; *4* — классная доска; *5* — воздухопроводы; *6* — дисковый трнер; *7* — стенд для испытания циклонов; *8* — стенд для определения запыленности воздуха; *9* — столы для студентов; *10* — шкаф; *11* — стол; *12* — опытный электроциклон; *13* — всасывающий фильтр; *14* — воздухопровод; *15* — ворня; *16* — батарейный циклон; *17* — привод с селеновым выпрямителем; *18* — стол преподавателя.

и стенд для определения запыленности воздуха. Контрольно-измерительные приборы размещены на лабораторных столах у рабочих мест измерений, на настенном щите и на специальном столе рядом со столом преподавателя.

На столах для студентов закреплены схемы вентиляционной установки и расположены машины КИСИ для самопроверки знаний студентов. На специальном столе установлена клавишная вычислительная машина.

В вентиляционной установке полупроизводственного типа для очистки воздуха от пыли вначале были два всасывающих фильтра (рис. 2). Дальнейшей реконструкцией предусмотрена замена лабораторного односекционного фильтра *16* батарейным циклоном 4БЦШ-225. В этом случае применена двухступенчатая очистка воздуха сначала в батарейном циклоне *16*, затем во всасывающем фильтре *13* (см. рис. 1).

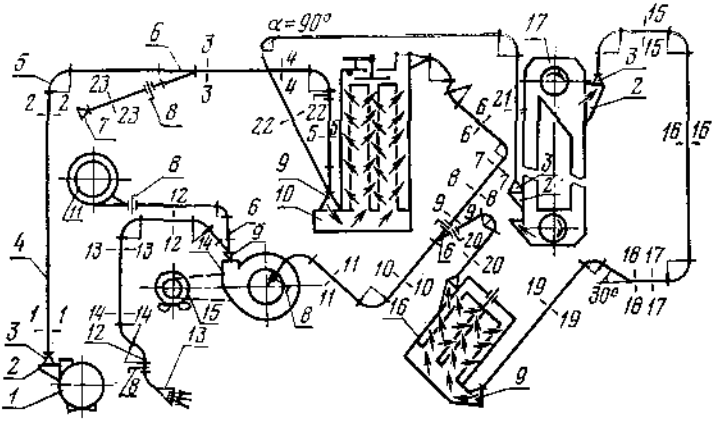


Рис. 2. Схема вентиляционной установки с фильтрами:
1 — дисковый триер; *2* — аспирационный носок; *3* — конфузор; *4* — прямик; *5* — отвод; *6* — тройник; *7* — входной коллектор; *8* — задвижка; *9* — диффузор; *10* — всасывающий фильтр производственный; *11* — опытный электропылеотделитель: *12* — «утка»; *13* — диффузор на выхлопе; *14* — вентилятор; *15* — электродвигатель; *16* — фильтр лабораторный; *17* — нория.

Вентиляционная установка (см. рис. 2) с двумя всасывающими фильтрами аспирирует дисковый триер *1* через аспирационный носок *2* и конфузор *3*, башмак и головку нории НЦГ-10 *17* и рабочее помещение лаборатории через входной коллектор *7*. В установке предусмотрена возможность отключения отсоса воздуха из помещения задвижкой *8*.

Воздух от пыли очищают во всасывающих фильтрах *10* и *16*, которые работают параллельно. Двухсекционный фильтр ФВ-30 (1БФМ-30) очищает воздух дискового триера и башмака нории. Односекционный фильтр 16 лабораторного типа производительностью до 600 м³/ч работает на очистке воздуха головки нории.

На входе воздуха в фильтры установлены диффузоры *9*. Параллельные потоки воздуха объединены тройниками *6*.

Воздух в вентиляционной установке перемещает центробежный вентилятор ВЦП-3 (Ц6-46) № 3. Вентилятор приводится во вращение от электродвигателя *15* ременной передачей. В установке применен электродвигатель постоянного тока типа ПН-10 напряжением 110 В, мощностью 1,6 кВт с максимальной частотой вращения $n=2000$ об/мин. Электродвигатель питается от сети переменного тока напряжением 220 В

через селеновый выпрямитель типа ВУ-100/24. Выпрямленное напряжение можно изменять от 26 до 110 В, что позволяет изменять частоту вращения электродвигателя и вентилятора от 750 до 1500 об/мин при диаметрах шкивов на электродвигателе 110 мм, на вентиляторе 140 мм.

Очищенный воздух после вентилятора удаляется из помещения по воздухопроводам. Для уменьшения потерь давления на выхлопе установлен диффузор *13*.

В вентиляционной установке предусмотрена возможность работы по второму варианту с рециркуляцией. В этом случае очищенный воздух после вентилятора не удаляют наружу, а подают в рабочее помещение после дополнительной повторной очистки в опытном электропылеотделителе *11*. При работе установки по схеме рециркуляции задвижку *8* в воздухопроводе перед сечением *12—12* закрывают, а задвижку, установленную перед опытным электропылеотделителем *11*, открывают.

Для выполнения лабораторных работ на этой установке предусмотрена возможность измерения давлений в различных частях на прямых участках воздухопроводов. Для измерения статических давлений в стенках воздухопроводов установлены штуцера, а для измерения общих и динамических давлений предусмотрены специальные отверстия диаметром до 25 мм с заглушками. Места размещения этих отверстий обозначены на схеме (см. рис. 2) цифрами *1—1*, *2—2* и т. д. до *22—22*.

Рабочие места для измерения давлений оборудованы лабораторными столами со щитами, на которых размещены контрольно-измерительные приборы.

На каждом рабочем месте имеется пневмометрическая трубка типа МИОТ с резиновыми шлангами и микроманометром типа ММН. На щитах лабораторных столов закреплены простейшие U-образные микроманометры и чашечный микроманометр с неподвижной наклонной шкалой типа ТНЖ.

Вентиляционная установка, показанная на рисунке 2, будет реконструирована. Лабораторный односекционный всасывающий фильтр *16* демонтируют и вместо него монтируют батарейный циклон 4БЦШ-225 со шлюзовым затвором (см. рис. 1).

Систему воздухопроводов переделывают таким образом, что запыленный воздух поступает на очистку

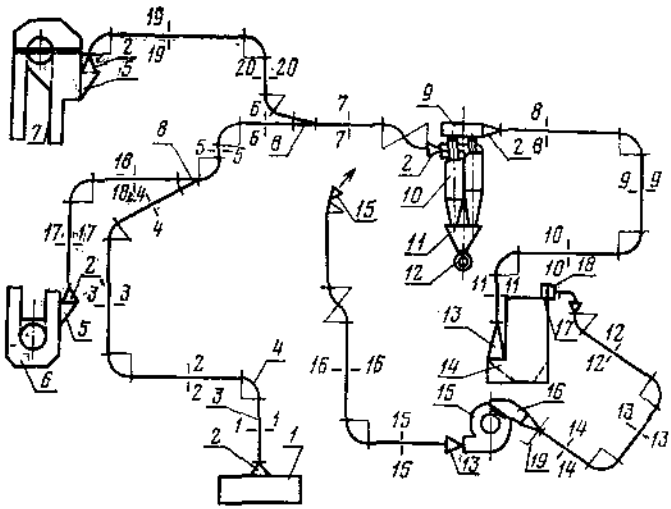


Рис. 3. Схема вентиляционной установки с двукратной очисткой воздуха в батарейном циклоне и всасывающем фильтре:

1 — дисковый триер; *2* — конфузор; *3* — прямик; *4* — отвод; *5* — аспирационный носок; *6* — башмак нории; *7* — головка нории; *8* — тройник; *9* — выходная коробка; *10* — батарейный циклон; *11* — бункер для пыли; *12* — шлюзовой затвор; *13* — диффузор; *14* — всасывающий фильтр; *15* — вентилятор; *16* — коробка ЦАГИ; *17* — выходная коробка; *18* — коллектор; *19* — задвижка.

вначале в батарейный циклон 4БЦШ-225, затем во всасывающий фильтр 1БФМ-30.

Из схемы установки (рис. 3), видно, что воздух отсасывается от дискового триера *1* через конфузор *2*, от башмака нории *6* и головки *7* через аспирационные носки *5* и конфузоры *2* воздухопроводами *3*, объединяется тройниками *8*, поступает в батарейный циклон *10*, затем во всасывающий фильтр *14*.

После всасывающего фильтра воздух поступает в сборный коллектор *18* и по воздухопроводам передается в центробежный вентилятор *15*, на входном отверстии которого установлена коробка ЦАГИ *16*.

На выходе из вентилятора установлен диффузор *13* с переходом квадрата на круг.

На прямых участках воздухопроводов в местах измерения давлений предусмотрены штуцера и отверстия с заглушками. Места измерения давлений на схеме (см. рис. 3) обозначены цифрами сечений от *1—1*, *2—2* до *20—20*.

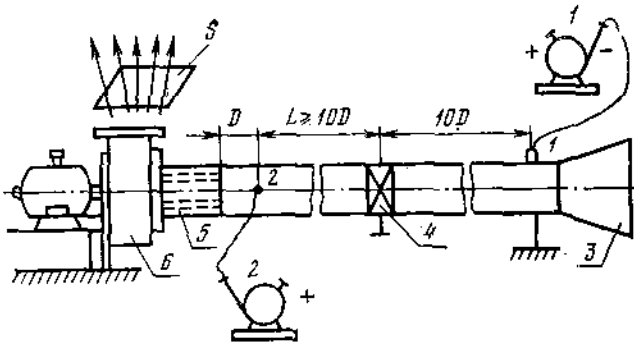


Рис. 4. Схема стенда для испытания вентилятора:
1, 2 — микроманометры; *3* — входной коллектор; *4* — задвижка; *5* — выпрямляющая решетка; *6* — вентилятор с электродвигателем.

Для испытания вентилятора в Одесском технологическом институте пищевой промышленности им. М. В. Ломоносова имеется стенд, схема которого показана на рисунке 4. Ко всасывающему отверстию вентилятора *6* присоединен воздухопровод, диаметр которого равен диаметру входного отверстия вентилятора. Выходное отверстие вентилятора открыто и не имеет диффузора и воздухопровода. В начале всасывающего воздухопровода установлен входной коллектор *3*. В точках *1* и *2* припаяны штуцера для измерения статических давлений микроманометрами *1* и *2*.

Недостатки этого стенда — горизонтальное расположение воздухопровода длиной более 6 м на полу помещения лаборатории, а также отсутствие нагнетательного воздухопровода и невозможность испытания циклонов.

Эти недостатки можно устранить, если оборудовать стенд, как это показано на рисунке 5. На этом стенде горизонтальный воздухопровод размещен вверху помещения, а после вентилятора смонтирован вертикальный воздухопровод, который используют для испытания циклона. Центробежный вентилятор *8* ЦАГИ № 3 Ц6-46 (ВЦП-3) приводится во вращение от электродвигателя *7* переменного тока мощностью 2,1 кВт, с частотой вращения 1450 об/мин. Вентилятор имеет частоту вращения 2300 об/мин при диаметрах шкивов на электродвигателе 160 мм, на вентиляторе 100 мм.

В вентилятор *8* воздух поступает из помещения

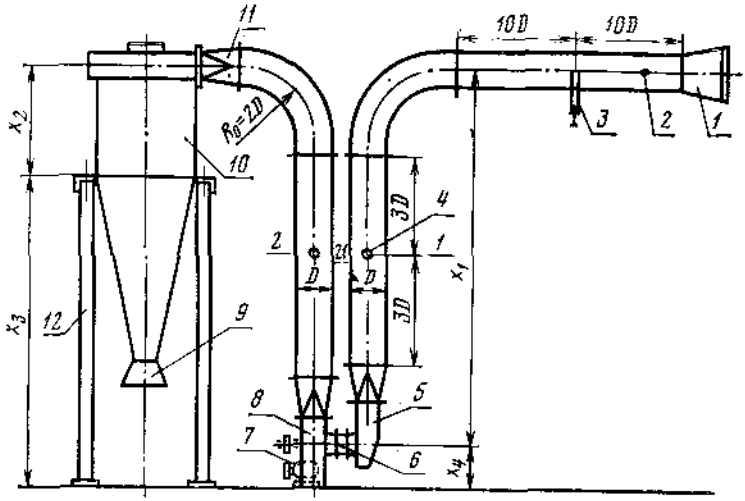


Рис. 5. Схема стенда для испытания циклона и вентилятора:
1 — входной коллектор; *2* — штуцер; *3* — задвижка; *4* — заглушка; *5* — коробка ЦАГИ; *6* — мягкая вставка; *7* — электродвигатель; *8* — вентилятор; *9* — сборная коробка; *10* — циклон; *11* — конфузор; *12* — станина.

через входной коллектор *1*, систему воздухопроводов и коробку ЦАГИ. Из вентилятора воздух нагнетается в испытываемый циклон *10*.

Станина *12* для крепления циклона предусматривает возможность монтажа трех типоразмеров циклонов УЦ ∅ 600, 300 и 200 мм. На прямых участках воздухопроводов перед вентилятором в сечении *1—1* и после вентилятора в сечении *2—2* предусмотрены отверстия с заглушками *4* для измерения давлений пневмометрическими трубками.

Для регулирования расхода воздуха предусмотрена задвижка *3*. На этом стенде можно испытать вентилятор и циклон, а также выполнить исследование по определению эффективности очистки воздуха от пыли, если предусмотреть запыление воздуха на входе в циклон, а на выходе из циклона установить фильтр из синтетического материала ФПП (перхлорвиниловый Петрянова) площадью не менее 1 м^2.

Устройство лаборатории вентиляционных установок при большей (около 170 м^2) площади помещения отличается тем, что в ней может быть размещено две полупроизводственных установки.

На рисунке 6 показана возможная схема размещения оборудования в лаборатории вентиляционных установок Могилевского политехнического института с размером помещения 21×8×4 м, площадью 168 м^2.

Одна вентиляционная установка со всасывающим фильтром *3* предусматривает аспирацию двух машин *размольного отделения, ситовеечной машины и аспирационной колонки 2.*

Вторая вентиляционная установка с батарейным циклоном *8* 4БЦШ-250 аспирирует три машины зерноочистительного отделения: сепаратор *5*, дисковый триер *6* и центробежный бурат *7*.

Привод центробежного вентилятора одной из установок предусматривает возможность изменения частоты его вращения не менее чем в два раза, что позволяет *испытывать вентилятор*.

Возможны и другие варианты оборудования лабораторий вентиляционных установок учебными стендами и установками.

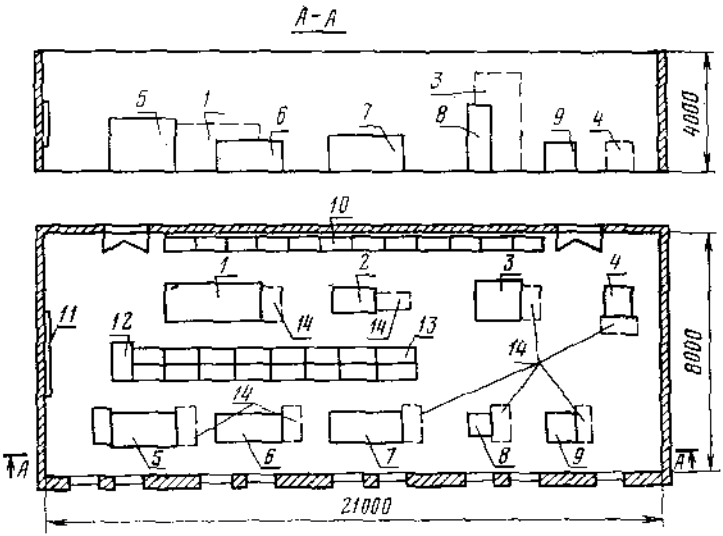


Рис. 6. Примерная схема размещения оборудования в лаборатории Могилевского политехнического института:

1 — ситовеечная машина; *2* — аспирационная колонка; *3* — всасывающий фильтр; *4* — вентилятор; *5* — зерновой сепаратор; *6* — дисковый триер; *7* — центробежный бурат; *8* — батарейный циклон; *9* — вентилятор; *10* — щиты и столы с КИП; *11* — классная доска; *12* — стол преподавателя; *13* — столы студентов; *14* — столы с КИП у мест замеров.

§ 3. Правила по технике безопасности при работе на вентиляционных установках и стендах

Во избежание случаев травматизма при работе вентиляционных установок необходимо соблюдать следующие правила по технике безопасности.

1. Все вращающиеся части оборудования должны иметь ограждения.

2. Ограждения должны быть закреплены и заземлены во избежание накопления на них статического электричества.

3. Запрещается прикасаться к вращающимся частям оборудования.

4. Корпуса электродвигателей должны быть заземлены во избежание поражения током в случае повреждения изоляции обмоток электродвигателя.

5. Станины вентиляторов, фильтров циклонов, шлюзовых затворов и вентиляционные воздухопроводы должны быть заземлены для устранения опасного накопления статического электричества.

6. Запрещается во время работы установок находиться против быстровращающихся шкивов и приводных ремней, так как возможны аварийные разрывы шкивов и ремней в плоскости их вращения.

7. Конструкция заглушек отверстий в воздухопроводах в местах замеров должна не допускать попадания внутрь воздухопроводов металлических деталей (болтов или гаек), так как они могут вызвать повреждение лопастей рабочего колеса вентилятора, искру и пылевой взрыв.

8. При измерении давления в воздухопроводах, расположенных на высоте более 2 м от пола, необходимо пользоваться специальной стремянкой или длинной пневмометрической трубкой (стулья и столы для этого не использовать).

9. Студентам разрешается измерять частоту вращения вентилятора тахометром только при непосредственном участии лаборанта или преподавателя.

10. Регулировать и изменять частоту вращения вентилятора разрешается студентам только при непосредственном участии лаборанта или преподавателя, так как чрезмерное увеличение частоты вращения может привести к разрыву приводных шкивов, приводных ремней и рабочих колес.

11. Пуск установки с неисправным или незакрепленным ограждением запрещается.

12. Пуск вентиляционной установки разрешается только в присутствии и по разрешению лаборанта или преподавателя.

13. Перед пуском вентилятора проверяют исправность ограждений, заземлений и отсутствие на ограждениях посторонних предметов.

14. При выполнении лабораторных работ по испытанию вентиляционных установок лаборант до начала работы на рабочих местах должен подготовить все приборы, необходимые для выполнения данной работы. На рабочем месте не должно быть посторонних предметов и лишних приборов.

15. Во время выполнения студентами лабораторных работ должны обязательно присутствовать лаборант и преподаватель.

16. Перед началом лабораторных работ преподаватель проводит общий инструктаж студентов, в котором объясняет основные правила и требования по технике безопасности при работе на вентиляционных установках. Студенты, не прошедшие инструктаж, к выполнению лабораторных работ не допускаются.

17. Ответственность за своевременную подготовку к работе и исправность вентиляционных установок возлагается на лаборанта и заведующего лабораторией.

18. Выполнение лабораторных работ на неисправном оборудовании или с нарушениями правил техники безопасности запрещается.

19. В случае травмы пострадавшему немедленно оказывают первую медицинскую помощь на месте с последующим обращением в поликлинику.

20. Ответственность за наличие аптечки в лаборатории возлагается на заведующего лабораторией и лаборанта.

21. По окончании работы студент обязан показать результаты замеров преподавателю, привести в порядок рабочее место и только с разрешения преподавателя или лаборанта выключить установку.

Одновременно в лаборатории могут выполнять работу не более 12 студентов.

Глава II

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

●

§ 1. Система единиц измерения и основные параметры воздуха

В настоящее время принята Международная система единиц измерения (СИ), которая базируется на следующих основных единицах: длина — метр (м), масса — килограмм (кг), время — секунда (с).

В технической системе МКГСС за основные единицы принимались: длина — метр (м), сила — килограмм-сила (кГ или кгс), время — секунда (сек). Масса была произвольной величиной и имела размерность $кГ \cdot с^2/м$.

В Международной системе единиц СИ к основным единицам измерения также относится термодинамическая температура — градус Кельвина (°К). Единицей силы является Ньютон (Н). Ньютон — сила, которая массе в 1 кг сообщает ускорение 1 $м/с^2$.

В технической системе сила 1 кГ сообщает массе 1 кг ускорение 9,81 $м/с^2$.

Единицей давления в системе СИ является паскаль (Па). Паскаль — давление, которое создается силой в 1 Н на площади 1 $м^2$. 1 Па = 1 $Н/м^2$.

В технической системе давление выражалось в $кГ/м^2$, мм вод. ст., мм рт. ст., $кГ/см^2$, технических атмосферах, физических атмосферах.

Зависимость между единицами давления:

1 Па = 1 $Н/м^2$ = 0,102 $кг/м^2$ = 0,102 мм вод. ст;
1 $кГ/м^2$ = 1 мм вод. ст = 9,81 Па ≅ 10 Па;
1 ат (техн.) = 10 000 $кГ/м^2$ = 10 000 мм вод. ст = = 735 мм рт. ст = 98 100 Па;
1 ат (физич.) = 10 333 мм вод. ст = 760 мм рт. ст = = 101 366 Па.

Перевод давления, выраженного высотой столба h любой жидкости в паскали, производят по следующей формуле:

$$P = h\rho_ж g, \qquad (1)$$

где h — высота столба жидкости, мм (или м); $\rho_ж$ — плотность жидкости, $г/см^3$ (или $кг/м^3$); $g = 9{,}81$ $м/с^2$ — ускорение свободного падения.

Работа в системе СИ выражается в джоулях (Дж). Джоуль равен произведению ньютона на метр (Н·м).

1 Дж=0,102 кГм;
1 кГм=9,81 Дж;
1 кВт·ч=3,6·10⁶ Дж=367 000 кГм=860 ккал;
1 ккал=4186 Дж=4,186 кДж=427 кГм;
1 кДж=0,24 ккал.

Мощность в системе СИ выражается в ваттах (Вт) или Дж/с:

1 Вт=1 Дж/с=1 Н·м/с;
1 кВт=102 кГм/с=1,36 л. с.;
1 л. с.=736 Вт=0,736 кВт.

Плотность. Плотностью называется отношение массы тела к его объему. В системе СИ плотность выражается в кг/м³. Плотность воздуха зависит от давления, температуры и относительной влажности

$$\rho = \frac{P}{RT}, \qquad (2)$$

где P — давление, Па; T — температура, °К; $T=273+t$°С; t — температура, °С; $R=287$ Дж/кг·°К=29,97 кГм/кГ·град — газовая постоянная для сухого воздуха; для водяного пара в пределах температур от 0° до 100°С $R=462$ Дж/кг·°К.

Для влажного воздуха величину R определяют по формуле

$$R = \frac{287}{1-0{,}378\varphi \frac{P_{\text{н.п}}}{P}},$$

где φ — относительная влажность воздуха, %; $P_{\text{н.п}}$ — давление насыщенного пара, Па.

Плотность воздуха уменьшается при увеличении относительной влажности, так как давление влажного воздуха уменьшается с увеличением его относительной влажности.

Плотность стандартного воздуха равна $\rho=1{,}2$ кг/м³.

В вентиляционной технике при сравнении результатов расчетов и измерений, проведенных в различных условиях, принято приводить полученные результаты к параметрам стандартного воздуха.

Параметры стандартного воздуха: $P=760$ мм рт. ст. = =101 366 Па; $t=+20$°С; $\varphi=50$ %.

Вязкость. *Динамической, или абсолютной, вязкостью* воздуха μ (в Па·с) называют отношение напряжения

сдвига к градиенту скорости. Напряжение сдвига выражают отношением силы сдвига F к площади S. Градиент скорости определяют изменением скорости сдвига dv на единицу длины нормали dl к направлению движения

$$\mu = \frac{F}{S\dfrac{dv}{dl}}.$$

Кинематической вязкостью ν (в м²/с) называют отношение абсолютной вязкости к плотности

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}.$$

Для стандартного воздуха $\mu = 17{,}95 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\nu = 15 \cdot 10^{-6}$ м²/с. Для водяного пара при давлении 101 367 Па (760 мм рт. ст) и температуре +20°С $\mu = 9{,}6 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $\nu = 12{,}9 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Вязкость зависит от температуры и не зависит от давления. С повышением температуры вязкость воздуха увеличивается.

В системе СИ единицей вязкости является Па·с (паскаль, секунда), в технической системе кГ·с/м².

1 кГ·с/м² = 9,81 Па·с;
1 Па·с = 0,102 кГ·с/м².

Теплосодержание. Теплосодержание влажного воздуха (в кДж/кг сухого воздуха) находят по формуле

$$i = 1{,}01t + (2493 + 1{,}97t)\frac{d}{1000}, \qquad (3)$$

где d — влагосодержание, г/кг сухого воздуха; t — температура, °С; 1,97 — теплоемкость пара, кДж/кг·°К; 2493 — скрытая теплота парообразования, кДж/кг.

Значения теплосодержаний и влагосодержаний находят из i—d-диаграммы (приложение 1): 1кДж ≅ ≅0,24 ккал; 1 ккал = 4,1868 кДж.

Давление. В вентиляционной технике давление обозначают: P — абсолютное давление; $\pm H$ — избыточное давление, т. е. разность между абсолютным давлением P в измеряемой точке и атмосферным давлением $P_а$ в помещении

$$\pm H = P - P_а, \qquad (4)$$

при $P > P_а$ избыточное давление H положительно «плюс», при $P < P_а$ — отрицательно «минус».

Внутри вентиляционных воздухопроводов при движении воздуха различают три вида давлений: статическое $P_{ст}$, динамическое $P_д$ и общее $P_о$. Статическое давление действует по всем направлениям по закону Паскаля. Динамическое давление действует только в направлении скорости и равно $P_д=\rho v^2/2$.

Общее давление всегда равно сумме статического и динамического

$$P_о=P_{ст}+P_д, \tag{5}$$

Избыточные давления в воздухопроводе на основании формулы (4) выражают следующим образом:

$$\pm H_{ст}=P_{ст}-P_а, \tag{6}$$

$$H_д=P_д-P_{да}=P_д=\rho v^2/2>0, \tag{7}$$

$$\pm H_о=P_о-P_а. \tag{8}$$

Динамическое давление в атмосфере помещения $P_{да}$ принимают равным нулю. Зависимость между избыточными давлениями выражается следующей формулой:

$$\pm H_о=\pm H_{ст}+H_д. \tag{9}$$

§ 2. График распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах и его применение

При регулировании, испытаниях, эксплуатации, проектировании и расчетах вентиляционных установок важное значение имеют график распределения давлений, показанный на рисунке 7, и выводы из этого графика, приведенные ниже.

При построении графика в условных масштабах нижнюю горизонтальную линию принимают за линию абсолютного вакуума $P=0$. На расстоянии, равном атмосферному давлению $P_а$, проводят вторую горизонтальную линию атмосферных давлений, где $P=P_а$, а избыточное давление $\pm H=0$. Вверх от линии атмосферных давлений откладывают положительные значения избыточных давлений $H>0$, а вниз — отрицательные значения $H<0$.

Далее записывают уравнение Д. Бернулли для двух любых последовательных сечений, причем первое сечение 1–1 удобнее принимать до входа в воздухопровод

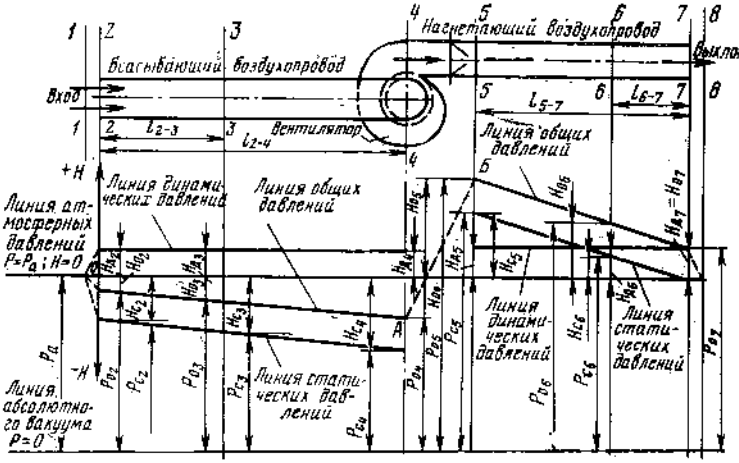


Рис. 7. График распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах.

в атмосфере, где $P=P_a$, $H_{ст}=0$ и $H_{д_1}=\rho v^2_1/2=0$, так как $v_1=Q/S_1=Q/\infty=0$,

где Q — расход воздуха, м³/с; S_1 — площадь поперечного сечения $1-1$, м².

Например, для сечений $1-1$ и $2-2$ уравнение Д. Бернулли в избыточных давлениях будет иметь следующий вид:

$$\pm H_{ст_1}+H_{д_1}=\pm H_{ст_2}+H_{д_2}+H_{пт\,1-2}=0,$$

откуда

$$\pm H_{ст_2}+H_{д_2}=-H_{пт\,1-2} \text{ или } H_{o_2}=-H_{пт\,1-2}<0.$$

Таким образом, общее избыточное давление во входном отверстии всасывающего воздухопровода H_{o_2} отрицательно (так как потери давления всегда положительны) и равно потерям давления от первого до второго сечения $H_{пт\,1-2}$.

Потери давления $H_{пт\,1-2}$ равны потерям давления на вход в воздухопровод $H_{вх}$

$$H_{пт\,1-2}=H_{вх}=\xi_{вх}\rho v^2_2/2,$$

где $\xi_{вх}$ — коэффициент сопротивления входа.

Откладывая на графике (см. рис. 7) вниз от линии атмосферных давлений величину H_{o_2}, находят точку общего давления в сечении *2—2*.

Динамическое давление в сечении *2—2* определяют по формуле (7) и откладывают вверх от линии атмосферных давлений. Поскольку диаметр всасывающего воздухопровода принят постоянным, величины динамических давлений в других сечениях будут одинаковыми. Поэтому линию динамических давлений проводят параллельно линии атмосферных давлений.

Статическое избыточное давление определяют из формулы (9):

$$H_{ст_2} = \pm H_{o_2} - H_{д_2} = -(H_{o_2} + H_{д_2}) < 0.$$

Отрицательную величину $H_{ст_2}$ откладывают вниз от линии атмосферных давлений и находят точку статического давления для сечения *2—2*.

Таким же образом определяют точки давлений для остальных сечений всасывающего воздухопровода. Соединяя прямыми найденные точки, получают на графике линии статического, динамического и общего давлений. Сечение *4—4* принято во входном отверстии вентилятора.

Чтобы построить график распределения давлений в нагнетательном воздухопроводе, записывают уравнение Д. Бернулли для двух любых последовательных сечений, например, *5—5* и *8—8*. Сечение *5—5* принимают в выходном отверстии вентилятора, а сечение *8—8* в атмосфере на некотором расстоянии от выходного отверстия воздухопровода.

$$\pm H_{ст_5} + H_{д_5} = \pm H_{ст_8} + H_{д_8} + H_{пт_{5-8}}.$$

Так как сечение *8—8* принято в атмосфере, то $H_{ст_8} = 0$ и $H_{д_8} = 0$. Тогда $\pm H_{ст_5} + H_{д_5} = H_{пт_{5-8}}$, или $H_{o_5} = H_{пт_{5-8}} > 0$.

Положительную величину H_{o_5}, равную потерям давления от пятого до восьмого сечения, откладывают вверх от линии атмосферного давления в пятом сечении. Динамическое давление в пятом сечении находят по формуле (7). Аналогично определяют величины давления и для остальных сечений нагнетательного воздухопровода.

Выводы из графика распределения давлений. При *испытаниях, эксплуатации, проектировании и расчетах*

следует руководствоваться следующими выводами из графика, приведенного на рисунке 7.

1. Во всасывающих воздухопроводах общее и статическое избыточные давления отрицательны, а в нагнетательных — положительны. Поэтому во всасывающих воздухопроводах возможны подсосы, а в нагнетательных — утечки воздуха через неплотности. Динамическое давление во всех воздухопроводах положительно.

2. Во всасывающих воздухопроводах статическое избыточное давление больше, а в нагнетательных меньше общего избыточного давления на величину динамического давления.

3. Во всех воздухопроводах общее абсолютное давление P_o больше статического абсолютного давления $P_{ст}$ на величину динамического давления $P_д$, т. е. $P_o = P_{ст} + P_д$.

4. В любом поперечном сечении всасывающего воздухопровода общее избыточное давление равно общим потерям давления от входа в воздухопровод до данного сечения. Поэтому во входном отверстии вентилятора (сечение *4—4*, точка *А*, рис. 7) общее избыточное давление H_o будет максимальным, а общее абсолютное давление P_o минимальным.

5. В любом поперечном сечении нагнетающего воздухопровода общее избыточное давление равно общим потерям давления от данного сечения до выхода в атмосферу. Поэтому в выходном отверстии вентилятора (сечение *5—5*, точка *Б*, рис. 7) общие давления H_o и P_o будут максимальными.

6. Из графика (см. рис. 7) видно, что воздух может перемещаться из области низкого давления (точка *А*) в область высокого давления (точка *Б*) только при условии, если вентилятор будет сообщать воздуху давление, равное разности абсолютных общих давлений в выходном $P_{o_н} - P_{o_в}$ и входном отверстиях вентилятора $P_{o_а}$, т. е.

$$H_в = P_{o_н} - P_{o_в}.$$

Так как разность абсолютных общих давлений равна сумме общих избыточных давлений, то давление, развиваемое вентилятором, равно сумме общих избыточных давлений во входном всасывающем $H_{o_в}$ и в выходном нагнетающем $H_{o_н}$ отверстиях вентилятора без учета их знаков

$$H_в = H_{о_в} + H_{о_н} \qquad (10)$$

Этот вывод используют при испытаниях вентиляционных сетей и вентиляторов. Замеряя общие избыточные давления во всасывающем и нагнетающем воздухопроводах при входе в вентилятор и при выходе, находят давление, которое развивает вентилятор в сети.

7. На основании выводов (4), (5) и (6) и формулы (10) давление, которое должен развивать вентилятор в сети, равно сумме всех потерь давления во всасывающих воздухопроводах до вентилятора $\Sigma H_{пт_{вс}}$ и сумме всех потерь давления в нагнетающих воздухопроводах после вентилятора $\Sigma H_{пт_н}$, т. е.

$$H_в = \Sigma H_{пт_{вс}} + \Sigma H_{пт_н} = H_{сети} = \Sigma H_{пт_{г.м}}, \qquad (11)$$

где $H_{сети}$ — сопротивление вентиляционной сети, равное сумме всех потерь давления в сети по главному магистральному направлению $\Sigma H_{пт_{г.м}}$.

Этот вывод используют при проектировании и расчетах вентиляционных сетей.

8. Для уменьшения давления, развиваемого вентилятором, потерь давления в сети и расхода энергии на установку, на входе воздуха в воздухопровод устанавливают конфузор, а на выходе — диффузор.

§ 3. Порядок проведения лабораторных занятий

Цель выполнения лабораторных работ — приобретение навыков по регулированию, испытанию и эксплуатации вентиляционных установок с одновременным углублением на практике полученных теоретических знаний.

Первое лабораторное занятие посвящается знакомству с содержанием лабораторных работ, устройством вентиляционных установок и стендов лаборатории, инструктажу по технике безопасности и знакомству с контрольно-измерительными приборами.

При изучении вентиляционных установок и стендов лаборатории желательно, чтобы каждый студент разобрался в схемах установок и определил, к какому типу относится данная установка по признакам классификации.

Перед выполнением лабораторных работ при изучении контрольно-измерительных приборов особое внимание обращается на принципы действия приборов и порядок пользования ими в процессе аэрометрических измерений.

После изучения контрольно-измерительных приборов и проверки знаний преподавателем студенты допускаются к выполнению лабораторных работ.

Результаты замеров по каждой работе проверяет преподаватель, затем результаты обрабатывают, анализируют, проводят расчеты и делают обобщающие выводы.

Студент обязан сравнить результаты замеров и расчетов с теоретическими данными и ответить письменно на поставленные вопросы.

Каждую лабораторную работу студенты оформляют и защищают. Следующую лабораторную работу разрешается выполнять только после защиты предыдущей.

Обычно предусматривается следующий порядок проведения лабораторных занятий. Число студентов, одновременно работающих в лаборатории, должно быть не более 12...14. Во время занятий в лаборатории должны находиться лаборант и преподаватель. До начала занятий лабораторные установки и стенды лаборант приводит в состояние готовности пуска. Перед началом занятий со всеми студентами группы проводят инструктаж по технике безопасности, объясняют порядок пуска и остановки вентилятора, сообщают задачи лабораторной работы и порядок ее выполнения.

При выполнении лабораторных работ всех студентов группы разделяют на рабочие подгруппы по два человека на каждое рабочее место для выполнения каждой подгруппой одной работы.

В настоящем пособии разработана методика выполнения десяти лабораторных работ. Первые пять лабораторных работ рекомендуются к выполнению за 14 учебных часов, отведенных по расписанию учебным планом. Остальные лабораторные работы могут выполняться при проведении УИРС, испытаниях, регулировании, наладке и выполнении НИР.

Количество выполняемых работ и время на их выполнение могут быть изменены кафедрой в зависимости от конкретных условий оборудования лаборатории учебными стендами и установками.

§ 4. Математическая обработка результатов измерений

Для определения искомой величины A производят несколько равноточных измерений a_1, a_2, ..., a_n.

Искомую величину A определяют как среднее арифметическое из результатов измерения, т. е.

$$A = \frac{a_1+a_2+\ldots+a_n}{n}, \tag{12}$$

где n — число измерений, принимаемое не менее трех.

При вычислении A придерживаются следующего правила: деление суммы результатов отдельных измерений $a_1+a_2+\ldots+a_n$ на число этих измерений n продолжают до тех пор, пока частное не будет иметь на одну цифру больше, чем имеется их в цифрах a_1, a_2, ..., a_n. Затем в полученном частном отбрасывают последнюю цифру по правилу округления.

Погрешность измерений определяют следующим образом. Вычисляют вероятность ошибки каждого измерения по формуле

$$V=A-a_1;\ V_2=A-a_2;\ \ldots;\ V_n=A-a_n.$$

Затем вычисляют среднюю квадратичную ошибку измерения, которая характеризует погрешность измерения

$$m=\pm\sqrt{\frac{V_1^2+V_2^2+\ldots+V_n^2}{n-1}}. \tag{13}$$

Например, при $A=100$, $m=\pm 10$ результаты опытов измерения колебались от 90 до 110.

Чем меньше m, тем точнее измерения.

Среднюю квадратичную ошибку арифметической середины, которая указывает, на сколько велика ошибка, если принять арифметическую середину за истинную величину, вычисляют по формуле

$$M=\pm\sqrt{\frac{V_1^2+V_2^2+\ldots+V_n^2}{n(n-1)}}=\frac{m}{\sqrt{n}}. \tag{14}$$

Например, при $A=100$, $M=\pm 5$ искомая величина $x=A\pm M=100\pm 5$ находится в пределах от 95 до 105.

Качество результатов измерений оценивают относительной ошибкой

$$E = \frac{\Delta A}{A} 100,$$

где ΔA — абсолютная ошибка, которую определяют при прямых вычислениях по формуле $\Delta A = 3M$.

Например, при $M = \pm 5$, $A = 100$; $\Delta A = 15$,

$$E = \pm 15/100 \cdot 100 = \pm 15\%.$$

Процент расхождения между двумя любыми значениями чисел A и B при $A > B$ рассчитывают по формуле

$$x = \left(\frac{A}{B} - 1\right) 100. \qquad (15)$$

§ 5. Методические указания к выполнению лабораторных работ

На первом лабораторном занятии необходимо ознакомить студентов с графиком выполнения всех пяти лабораторных работ в соответствии с рабочей программой.

Время, отведенное на лабораторные работы (14 ч), предусматривается использовать на ответы преподавателя на вопросы студентов, на получение допуска к лабораторным работам, на проведение замеров и защиты лабораторных работ.

Глава III

КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК

В вентиляционных установках используют контрольно-измерительные приборы для измерения давлений, скоростей, температуры, влажности и запыленности воздушных потоков.

§ 1. Приборы для измерения давлений

Атмосферное давление измеряют барометрами и барографами. Барометры бывают ртутные и пружинные (*анероиды*). В *технике высоких давлений избыточное* давление измеряют манометрами, а разрежение — вакуумметрами.

В вентиляционной технике приходится измерять очень малые избыточные давления и разрежения от 5 до 3000 Па. Приборы для измерения таких малых давлений называют микроманометрами. Микроманометрами измеряют не абсолютные давления P внутри воздухопроводов, а разность давлений в воздухопроводе и в атмосфере $P_а$, т. е. избыточное давление $\pm H$ согласно зависимости (4).

Ввиду того, что в воздухопроводе есть три вида давлений — статическое $P_{ст}$, динамическое $P_д$ и общее $P_о$, приходится измерять три вида избыточных давлений $\pm H_{ст}$, $H_д$ *и* $\pm H_о$ *согласно зависимостям* (6), (7) *и* (8). Можно замерить только два, а третье найти вычислением по зависимости (9).

Микроманометры бывают жидкостные и мембранные. Мембранные микроманометры не выдерживают вибраций, поэтому их мало применяют в производственных условиях. Наибольшее применение имеют жидкостные (водяные и спиртовые) микроманометры.

Ртутные микроманометры в вентиляционной технике не применяют ввиду повышенной плотности (13,6 г/см^3) ртути и ее вредности.

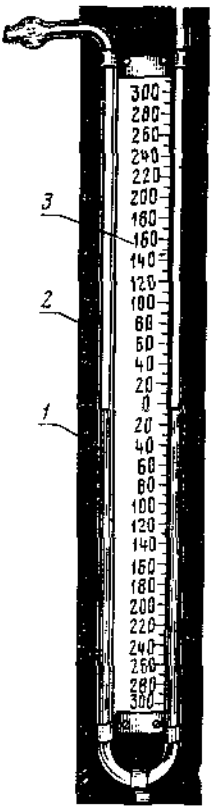


Рис. 8. Общий вид простейшего U-образного микроманометра:
1 — стеклянная трубка; *2* — рамка; *3* — шкала.

Водяные микроманометры применяют для разовых непродолжительных измерений, не требующих высокой точности. При длительных измерениях вода становится антисанитарной, создает коррозию микроманометров и замерзает при низких температурах. Поэтому наибольшее применение имеют жидкостные спиртовые микроманометры, в которых применяют этиловый спирт, подкрашенный фуксином. Эти микроманометры гигиеничны и имеют достаточную точность.

Жидкостные микроманометры. Принцип действия жидкостных микроманометров основан на вытеснении и перемещении жидкости в сообщающихся сосудах под действием разности давлений, уравновешиваемых гидростатическим давлением столба жидкости.

Наибольшее применение имеют следующие жидкостные микроманометры: простейшие U-образные, чашечные с вертикальной неподвижной шкалой, чашечные с наклонной неподвижной шкалой и чашечные с наклонной поворотной шкалой.

Простейший U-образный микроманометр. Устройство микроманометра показано на рисунке 8, схема измерения давлений — на рисунке 9.

Микроманометр состоит из изогнутой стеклянной калиброванной трубки *1* диаметром 6...8 мм, которая крепится к рамке *2*. Концы стеклянной трубки открыты, заострены для удобства надевания резиновых шлангов и имеют местные утолщения для создания герметичности соединения. Между стеклянными трубками на рамке *2* имеется шкала *3* с миллиметровыми делениями. На рисунке 8 изображен микроманометр с нулем шкалы посередине и длиной шкалы 300 мм. Удвоение

надписей на шкале (20 мм вместо 10, 40 мм вместо 20 и т. д.) позволяет определить *общую высоту столба* жидкости по одному мениску при условии заливки жидкости перед замерами точно на нуль. Для удобства заливки жидкости на нуль перед замерами шкала *3 должна иметь* возможность вертикального перемещения относительно рамки *2*. Если перед замерами уровень менисков жидкости не совпадал с нулем шкалы, то отсчет высоты *столба жидкости* ведут по двум менискам, что вызывает неудобство и увеличивает погрешности измерения.

Имеются микроманометры с нулем внизу или с нулем посередине без удвоения надписей на шкале. Они более удобны для отсчетов.

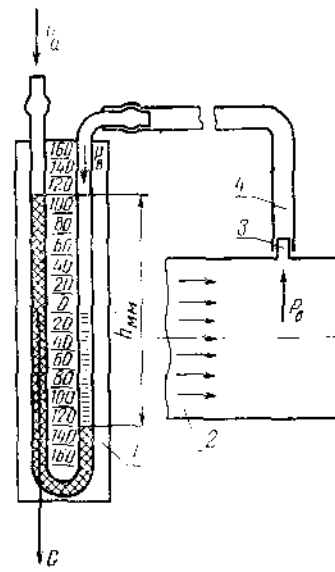


Рис. 9. Схема измерения статического давления в воздухопроводе простейшим U-образным микроманометром при $P_в > P_а$:
1 — U-образный микроманометр; *2* - воздухопровод; *3* — штуцер; *4* — резиновая трубка.

На схеме измерений (см. рис. 9) показано, что один *из концов стеклянной трубки микроманометра 1 соединен* резиновой трубкой *4* со штуцером *3* воздухопровода *2*. Второй конец стеклянной трубки микроманометра открыт и на поверхность жидкости левого колена будет давить атмосферное давление $P_а$. На поверхность жидкости правого колена трубки будет передаваться давление в воздухопроводе $P_в$.

Когда давление в воздухопроводе $P_в > P_а$, *уровень* жидкости в правом колене опустится, а в левом поднимется на такую же величину. При $P_в < P_а$ произойдет обратное перемещение жидкости из левого колена трубки в правое.

Столб жидкости высотой h от опустившегося уровня в правом колене до поднявшегося уровня в левом колене *трубки микроманометра уравновешивает* дав-

ление в воздухопроводе $P_в$ и атмосферное давление $P_а$ по следующей зависимости:

$$P_а + P_ж = P_в, \tag{16}$$

где $P_ж$ — давление, равное весу столба жидкости высотой h, деленному на площадь поперечного сечения трубки.

Выражая вес столба жидкости через объем и плотность, получим уравнение равновесия жидкости в U-образном микроманометре в следующем виде:

$$h\rho_ж g = P_в - P_а. \tag{17}$$

На основании зависимости (4) измеряемое избыточное давление будет равно

$$\pm H = h\rho_ж g, \tag{18}$$

где $\rho_ж$ — плотность жидкости, кг/м³ или г/см³; h — высота столба жидкости, м или мм; $g = 9{,}81$ м/с² — ускорение свободного падения.

Из выражения (18) видно, что точность измерения зависит от плотности жидкости $\rho_ж$. Чем меньше плотность жидкости, тем больше высота столба жидкости h при той же разности давлений ($P_в - P_а$) и тем меньше цена деления шкалы, а следовательно, меньше погрешность измерения. Так, например, для воды плотностью $\rho_ж = 1$ г/см³ ошибка в отсчете по шкале $h = 1$ мм дает погрешность измерения давления $\pm H = 9{,}81 = 10$ Па. На спирте плотностью 0,8 г/см³ ошибка измерения составит около 8 Па. При измерении малых избыточных давлений меньше 100 Па эти ошибки измерения превышают 10%, что недопустимо.

Поэтому простейшие U-образные микроманометры можно применять только для измерения повышенных избыточных давлений больше 100 Па с невысокой точностью. Для более точных измерений применяют чашечные микроманометры.

Чашечный микроманометр с вертикальной неподвижной шкалой (рис. 10). Чашечный микроманометр отличается от U-образного микроманометра тем, что у него одно колено трубки заменено чашкой. Площадь поперечного сечения чашки в 200...700 раз больше площади сечения трубки. Поэтому, заливая жидкость в чашку перед замерами до нуля, отсчет можно вести по одному уровню жидкости в трубке. Величиной смещения нуля, т. е. опусканием

уровня жидкости в чашке Δh, при замере пренебрегают. Уравнения равновесия (16) и (17) справедливы при измерении давлений и чашечным микроманометром с вертикальной шкалой.

Погрешность измерения из-за смещения нуля шкалы Δh зависит от отношения площадей поперечного сечения трубки S_1 и чашки S_2. Приравнивая объемы жидкости, вытесненные из чашки в трубку во время замера, находят величину Δh из уравнения

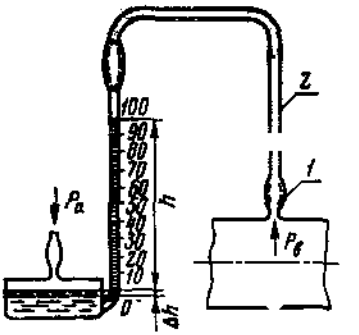


Рис. 10. Схема измерения статического давления в воздухопроводе чашечным микроманометром с вертикальной шкалой:
1 — штуцер; *2* — резиновая трубка.

$$\Delta h S_2 = h S_1,$$

откуда

$$\Delta h = \frac{S_1}{S_2} h. \qquad (19)$$

Из этой зависимости видно, что величина Δh меньше h во столько раз, во сколько площадь чашки больше площади трубки.

Чем больше площадь поперечного сечения чашки, тем выше точность прибора. Например, в случае $S_1/S_2 = 1/500$ погрешность при измерении давления $H = 1000$ Па, когда высота столба воды $h = 100$ мм, составит $\Delta h = 1/500 \cdot 100 = 0{,}2$ мм, или 0,2 %.

Для точных измерений с учетом смещения нуля шкалы уравнение равновесия (16) для схемы измерения (см. рис. 10) будет иметь следующий вид:

$$P_а = \rho_ж g (h + \Delta h) + P_в.$$

Подставляя Δh из (19), получим

$$P_в - P_а = -h\rho_ж g \left(1 + \frac{S_1}{S_2}\right)$$

или

$$-H = h\rho_ж g n, \qquad (20)$$

где $n = 1 + S_1/S_2$ — поправочный коэффициент на смещение нуля шкалы.

У применяемых чашечных микроманометров отношение S_1/S_2 составляет около 1/700, поэтому при технических измерениях погрешностью коэффициента n пренебрегают.

Сравнивая схемы измерения избыточных давлений простейшим U-образным и чашечным микроманометрами, необходимо отметить важную отличительную особенность, которая состоит в следующем. В простейших U-образных микроманометрах не имеет значения, к какому концу трубки подсоединить измеряемое давление от воздухопровода. Во всех чашечных микроманометрах большее из давлений $P_а$ или $P_в$ следует подсоединять к штуцеру чашки плюс (+), а меньшее — к штуцеру трубки минус (—). При подключении большего из измеряемых давлений к трубке чашечного микроманометра жидкость в трубке опустится ниже нуля шкалы прибора — замерить давление при этом невозможно.

Недостаток чашечного микроманометра с вертикальной неподвижной шкалой — низкая точность, так как цена деления шкалы прибора в 1 мм соответствует давлению 9,81 Па при использовании воды, как и у простейшего U-образного микроманометра.

Для повышения точности отсчета по шкале до сотых долей миллиметра применяют специальное оптическое приспособление, которое закрепляется на каретке, перемещаемой вдоль измерительной трубки.

Одним из точных чашечных микроманометров с вертикальной неподвижной шкалой является микроманометр АЛД с оптико-механической системой отсчета.

Микроманометр АЛД — сложный прибор, применяют его обычно только для тарировки других микроманометров в лабораторных условиях.

Для измерений давлений в воздухопроводах вентиляционных установок применяют чашечные микроманометры с наклонной шкалой, которые имеют достаточно высокую точность (до 1...2 Па) и более просты.

Схема измерения избыточных давлений чашечным микроманометром с наклонной шкалой показана на рисунке 11.

Уравнение равновесия в чашечном микроманометре с наклонной шкалой при $P_в < P_а$ имеет следующий вид:

$$P_а = P_в + P_{ж_1},$$

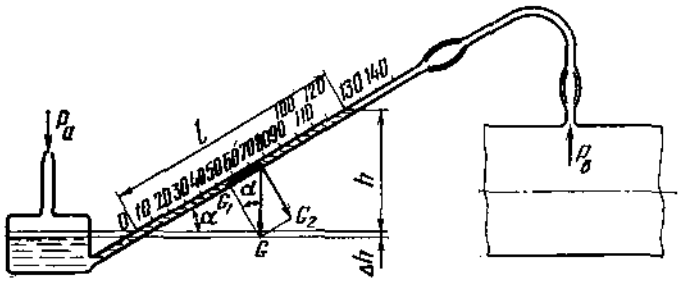


Рис. 11. Схема измерения давления в воздухопроводе чашечным микроманометром с наклонной шкалой при $P_в < P_а$.

где $P_{ж_1}$ — давление первой составляющей G_1 силы тяжести столба жидкости в трубке, которое уравновешивает разность измеряемых давлений.

Давление первой составляющей столба жидкости можно выразить через площадь поперечного сечения трубки, объем и плотность жидкости. На основании зависимости (4) получим давление в Па:

$$-H = l \sin \alpha \rho_ж g. \qquad (21)$$

Знак минус (—) перед избыточным давлением H показывает, что $P_в < P_а$.

Из выражения (21) видно, что измеряемое избыточное давление H равно произведению длины наклонной шкалы l на синус угла α наклона трубки к горизонтали на плотность жидкости $\rho_ж$ и ускорение свободного падения g. Чем меньше угол наклона трубки, тем точнее измерение, так как больше длина шкалы и меньше погрешность отсчета.

Для удобства получения результатов измерения давлений в Па с учетом поправки на нормальные условия выражение (21) применяют в следующем виде:

$$-H = lKg\Delta, \qquad (22)$$

где $K = \rho_ж \sin \alpha$ — коэффициент чашечного микроманометра, или фактор микроманометра; $\Delta = \rho_{ст}/\rho$ — поправочный коэффициент на приведение результатов замера к стандартным условиям; $\rho_{ст} = 1{,}2$ кг/м³ — плотность стандартного воздуха; ρ — плотность воздуха при параметрах измерения.

Коэффициент Δ можно определить по следующей зависимости:

$$\Delta = 345T/P,$$

где $T=273+t°C$ — температура воздуха при измерениях, °К; P — давление воздуха при измерениях, Па.

Из сравнения уравнений равновесия (20) и (21) видно, что точность измерения микроманометрами с наклонной шкалой выше, чем микроманометрами с вертикальной шкалой. Это объясняется тем, что длина l наклонной шкалы больше высоты h столба вертикальной шкалы, так как $h=l\sin\alpha$. Таким образом, одна и та же ошибка в отсчете мениска по шкале l в 1 мм дает меньшую погрешность в давлении в $1/\sin\alpha$ раза, чем при вертикальной шкале h. Чем меньше угол наклона трубки к горизонтали, тем меньше погрешность отсчета и выше точность измерения.

Чашечный микроманометр с наклонной неподвижной шкалой. Устройство жидкостного тягонапоромера типа ТНЖ показано на рисунке 12. Тягонапоромер состоит из корпуса *2*, внутри которого находятся стеклянный сосуд (чашка) с наклонной стеклянной измерительной трубкой *1*, прикрепленные неподвижно к корпусу скобами и винтами. Вдоль измерительной трубки *1* расположена шкала *9*. Шкала *9* может перемещаться вдоль трубки при установке уровня спирта на нуль перед замерами посредством вращения винта маховичком *8*, расположенным в правой торцовой стенке корпуса прибора. Вверху средней части корпуса вмонтирован уровень *5* для установки прибора в горизонтальное рабочее положение.

Спирт можно заливать в чашку через любой из штуцеров *4* или *7*. Штуцер чашки *4* (плюс) соединен постоянно с чашкой резиновой трубкой. Штуцер трубки *7*

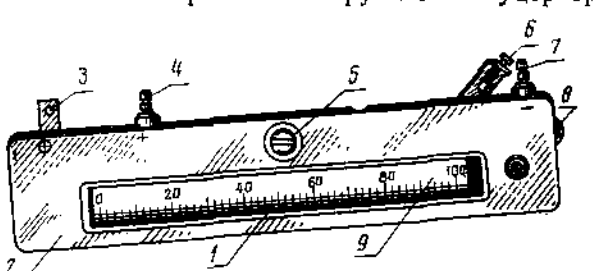


Рис. 12. Чашечный микроманометр с наклонной неподвижной шкалой (тягонапоромер жидкостный ТНЖ):

1 — измерительная трубка; *2* — корпус с чашкой; *3* — неподвижная подвеска; *4* — штуцер чашки; *5* — уровень; *6* — винт подвижной подвески; *7* — штуцер трубки; *8* — винт настройки шкалы на «нуль»; *9* — шкала.

(минус) соединен со стеклянной измерительной трубкой *1* тоже резиновой трубкой.

Для крепления тягонапоромера ТНЖ к вертикальной стене или щиту служат две подвески. Левая подвеска *3* имеет отверстие для возможности поворота прибора относительно оси опоры этой подвески. Правая подвеска подвижная, позволяет регулировать угол наклона прибора винтом *6* и устанавливать его горизонтально по уровню *5* перед замерами.

Резиновую трубку измеряемого давления подсоединяют к одному из штуцеров микроманометра. Если измеряемое давление в воздухопроводе больше атмосферного, то эту трубку подсоединяют к штуцеру *4* чашки. При этом штуцер *7* трубки оставляют открытым. При измерении давления в воздухопроводе меньше атмосферного резиновую трубку подсоединяют к штуцеру *7*, а штуцер *4* оставляют открытым.

Если в прибор залит спирт с другой плотностью, чем указано на шкале прибора, то производят пересчет по формуле (23), в которую вводят поправочный коэффициент $K_{ж}=\rho_{ж}/\rho_{ж_т}$, где $\rho_{ж_т}$ — плотность спирта, на которую оттарирована шкала прибора; $\rho_{ж}$ — плотность спирта, залитого в прибор при измерении.

В этом случае формула (22) принимает следующий вид:

$$\pm H = lKg\Delta K_{ж}. \qquad (23)$$

Чашечные микроманометры с постоянным углом наклона шкалы имеют следующие недостатки: невозможность еще больше повысить точность измерения малых давлений из-за постоянства угла наклона; при малом угле наклона и повышенной точности измерения малы пределы измерения. Для устранения этих недостатков применяют чашечные микроманометры с наклонной поворотной шкалой, которые позволяют измерять малые давления с высокой точностью при малом угле наклона шкалы, а высокие давления с большим углом наклона.

Чашечные микроманометры с наклонной поворотной шкалой. Эти микроманометры наиболее совершенны и широко применяются в вентиляционной технике. К чашечным микроманометрам с наклонной поворотной шкалой относятся микроманометры ЦАГИ и ММН.

Устройство микроманометра ЦАГИ показано на рисунке 13. Отличительная конструктивная особенность микроманометра ЦАГИ — цилиндрическая чашка *2* с горизонтальной осью может поворачиваться совместно со стеклянной трубкой и шкалой *1* в неподвижной обойме *3* корпуса. Измеряемое давление подсоединяется к штуцеру *4* чашки или к штуцеру *5* трубки. Положение трубки со шкалой *1* относительно горизонтального положения фиксируется на скобе *6*, где нанесены значения синусов угла наклона трубки. Коэффициент K в формуле (22) для микроманометра ЦАГИ равен $K=\sin\alpha$. Шкала прибора нанесена в миллиметрах.

При такой конструкции чашки микроманометра точность измерения давления в зависимости от угла наклона трубки изменяется. Во время замера уровень жидкости в чашке опускается ниже диаметрального сечения. При этом уменьшается площадь поперечного сечения жидкости в цилиндрической чашке с горизонтальной осью по сравнению с диаметральным сечением, когда площадь максимальна.

При уменьшении площади чашки величина Δh (см. рис. 11) и погрешность замеров увеличиваются с 0,14 до 1,12%. *Это является основным недостатком* микроманометра ЦАГИ. Для устранения этого недостатка внутренняя цилиндрическая форма чашки должна быть заменена на квадратную при стороне квадрата, равной диаметру чашки.

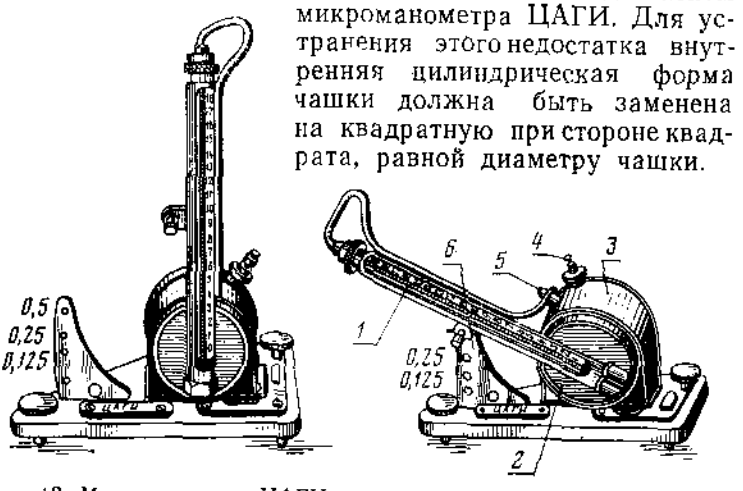


Рис. 13. Микроманометр ЦАГИ:
1 — измерительная поворотная трубка со шкалой; *2* — цилиндрическая поворотная чашка; *3* — обойма корпуса; *4* — штуцер чашки; *5* — штуцер трубки; *6* — скоба.

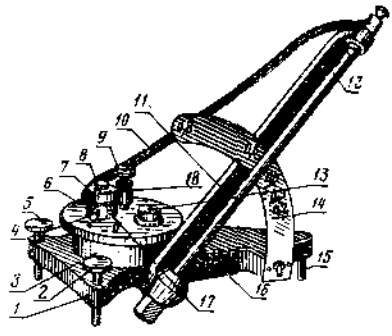


Рис. 14. Микроманометр ММН:

1 — корпус; *2* и *5* — винтовые ножки; *3* — чашка; *4* — штуцер чашки «плюс»; *6* — штуцер трубки «минус»; *7* — трехходовой кран; *8* — ручка крана; *9* — регулятор уровня спирта на нуль; *10* — резиновая трубка; *11* — рамка с фиксатором; *12* — стеклянная трубка со шкалой; *13* — пробка для заливки спирта; *14* — скоба; *15* — неподвижная ножка; *16* — уровень; *17* — отверстие «нуль»; *18* — правый упор.

В настоящее время большое применение находят микроманометры ММН (микроманометр многопредельный для измерения избыточного давления *H*), в которых цилиндрическая чашка имеет вертикальную ось, поэтому площадь сечения жидкости в чашке и точность измерения постоянны.

Устройство микроманометра ММН показано на рисунке 14. Прибор состоит из металлического корпуса *1*, имеющего форму плиты, которую устанавливают на трех ножках. Левые ножки *2* и *5* винтовые, позволяющие устанавливать прибор в горизонтальном положении по уровням *16* с цилиндрическими ампулами, вмонтированными в плиту корпуса *1*. Правая ножка *15* неподвижная. Металлическая чашка *3* цилиндрической формы с вертикальной осью закреплена в корпусе *1*. Поворотная стеклянная трубка *12* со шкалой закреплена на раме *11* и может поворачиваться относительно оси корпуса на угол α от 10° до 90°. Геометрическая ось вращения трубки совпадает с нулевым делением шкалы. Раму *11* фиксируют в определенном положении на скобе *14* фиксатором.

Нижний конец измерительной трубки *12* соединен с чашкой *3* резиновой трубкой, которая заполнена спиртом. Верхний конец измерительной трубки *12* постоянно соединен резиновой трубкой *10* со штуцером трехходового крана *7*. Спирт заливают в чашку *3* через специальное отверстие в крышке чашки, закрытое пробкой *13*. Для установки мениска спирта в трубке на нуль шкалы имеется регулятор уровня *9*. При вращении винта регулятора по часовой стрелке происходит вытеснение спирта из чашки в трубку и увеличение его уровня в чашке и трубке.

В крышку чашки *3* вмонтирован трехходовой кран *7*. В корпусе крана имеется три штуцера. Штуцер *4* «плюс» служит для подвода давления к чашке, штуцер *6* «минус» предназначен для передачи давления на спирт в трубке посредством третьего штуцера, соединенного постоянно резиновой трубкой *10* с верхним концом измерительной трубки *12*.

Схема трехходового крана показана на рисунке 15. В корпусе крана имеется отверстие «нуль», через которое атмосферное давление передается в чашку и трубку, когда ручка крана повернута к правому упору *18* (рис. 14). Такое положение крана применяют при установке мениска спирта на нуль шкалы. При этом штуцеры чашки «плюс» и трубки «минус» отключены (рис. 15, *а*).

Для измерения давления ручку *8* крана *7* (см. рис. 14) поворачивают к левому упору (рис. 15, *б*). В этом случае отверстие «нуль» в корпусе крана перекрывается и прибор отключается от атмосферы. Штуцер «плюс» соединяется с чашкой, штуцер «минус» соединяется посредством кольцевой выточки в пробке крана со штуцером *а* измерительной трубки.

На скобе *14* прибора против отверстий фиксатора написаны цифры коэффициента микроманометра, равные $K=\rho_{ж}\sin\alpha$ или $K=\rho_{ж}\sin\alpha g$.

Техническая характеристика микроманометра ММН: длина шкалы 300 мм; пределы измерения: максимальный — до 2400 Па (240 мм вод. ст), минимальный при

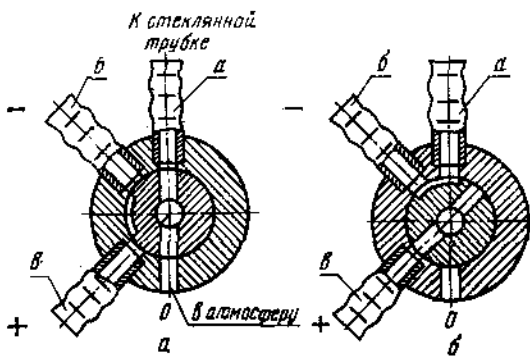


Рис. 15. Схема трехходового крана:
а — при установке мениска на нуль; б — при измерении давления.

коэффициенте $K=0{,}2$ — до 600 Па; заполнитель — этиловый спирт плотностью $0{,}8095\pm0{,}0005$ г/см^3; погрешность измерения не превышает 0,5...1 % от верхнего предела измерения; допустимое давление при проверке герметичности чашки и трубки до 20 000 Па.

Порядок замеров давления микроманометром ММН:

устанавливают прибор на устойчивом столе и регулируют горизонтальное положение корпуса винтами *2* и *5* по уровням *16* так, чтобы пузырьки стояли в центре; вначале рекомендуется вращать винт *2* и устанавливать первый уровень *16*, а затем вращать винт *5* и устанавливать второй уровень, расположенный перпендикулярно первому;

устанавливают раму с измерительной трубкой на более высокий предел измерения, например $K=0{,}6$, чтобы при замерах давления спирт не перелился через верхний конец измерительной трубки; поворачивают ручку *8* трехходового крана против часовой стрелки до правого упора на «нуль»;

проверяют наличие спирта в чашке по мениску в трубке около нулевого деления шкалы; если спирт не залит, то открывают пробку *13*, заливают спирт и закрывают пробку до отказа;

устанавливают мениск в трубке на нуль шкалы вращением винта регулятора уровня *9*;

поворачивают ручку *8* трехходового крана по часовой стрелке до левого упора на замер;

подсоединяют резиновую трубку от измеряемого давления в воздухопроводе к штуцеру «плюс» чашки, если давление больше атмосферного, или к штуцеру «минус» трубки, если измеряемое давление меньше атмосферного.

Перед началом замеров проверяют прибор на отсутствие воздушных пробок в столбике спирта и на герметичность соединений. Наличие воздушных пробок в столбике спирта проверяют подсосом уровня спирта в стеклянной измерительной трубке примерно до конца шкалы. В случае обнаружения воздушных пробок выдувают их вместе со спиртом в чашку прибора.

Герметичность соединений микроманометра проверяют следующим образом: осторожно вдувают воздух в отверстие пневмометрической трубки, поднимают спиртовой столбик по шкале на 100...150 мм, затем плотно зажимают отверстие. Если при этом уровень

спирта опускается, то в системе есть неплотности. Необходимо уплотнить места соединений резиновых трубок со штуцерами и добиться, чтобы столбик спирта оставался неподвижным при проверке на герметичность.

Если уровень спирта в трубке при замерах давления поднимается незначительно, то следует уменьшить угол наклона трубки и принять меньший коэффициент K (например, $K=0{,}3$ вместо $K=0{,}6$). Самые точные замеры получают при минимальном угле наклона $K=0{,}2$. При этом нельзя допускать переливания спирта через верхний конец измерительной трубки в трехходовой кран, так как прибор выходит из строя.

Установив минимально возможное положение угла наклона шкалы, поворачивают трехходовой кран к правому упору на «нуль», окончательно корректируют «нуль» шкалы, предварительно проверив горизонтальное положение прибора по уровням, затем приступают к замерам, отсчитывая на шкале показания. Во время работы контролируют положение прибора.

Величину измеряемого избыточного давления (в Па) находят с учетом формул (21) и (22) по следующей зависимости:

$$\pm H = lKg\Delta,$$

где l — длина шкалы, отсчитанная при замерах, мм: $K=\rho_{ж}\sin\alpha$ — коэффициент прибора — нанесен на скобе *14* (см. рис. 14); $g=9{,}81$ м/с^2; Δ — поправочный коэффициент на атмосферные условия отклонения от стандартного воздуха — подсчитывают, как в формуле (22).

Знак «плюс» у избыточного давления принимают, если резиновую трубку от измеряемого давления подсоединяют к штуцеру «плюс» чашки. Знак «минус» будет при замерах, когда измеряемое давление воздухопровода подсоединялось к штуцеру «минус» трубки микроманометра.

Для лучшей видимости мениска на шкале рекомендуется заливать этиловый спирт, предварительно подкрашенный фуксином или метиловым красителем (метилротом). На 1 л спирта берут 50 мг красителя. Внутренний диаметр капиллярной стеклянной трубки принимают не более 3 мм. Для однократной заливки чашки микроманометра необходимо 100 см^3 спирта.

Коэффициент микроманометра на скобе $K=0{,}2$, 0,3, ..., 0,8 дан для плотности спирта $\rho=0{,}8095$ г/см^3

при $t=20°C$. Если при измерениях применяют жидкость с другой плотностью $\rho_ж$ при другой температуре $t_ж$, тогда пересчитывают полученные показания $H_{пок}$ на стандартные условия по следующей формуле:

$$H=\frac{\rho_ж}{0{,}8095}\cdot\frac{1}{1+\beta(t_ж-20)}H_{пок}, \qquad (24)$$

или

$$H=nH_{пок}, \qquad (25)$$

где β — коэффициент объемного расширения жидкости. Для спирта — 0,0011, воды — 0,00015, толуола — 0,0011, керосина — 0,00096; n — поправочный коэффициент на плотность спирта и температуру измерения.

Строенный дифференциальный микроманометр ЛТА-4. Кроме рассмотренных чашечных микроманометров с наклонной поворотной одинарной шкалой ЦАГИ и ММН, имеется комбинированный строенный микроманометр ЛТА-4, который позволяет одновременно измерять три давления: статическое, динамическое и общее.

Микроманометр ЛТА-4 — усовершенствованный образец микроманометра ЛТА-3, разработанный в Ленинградской лесотехнической академии им. С. М. Кирова.

Устройство микроманометра ЛТА-4 показано на рисунках 16 и 17. Прибор состоит из двух чашек *1* и *4*, изготовленных из силумина за одно целое с литым корпусом. Чашки внутри покрыты эпоксидной смолой.

Для заливки спирта предусмотрены отверстия с пробками *6*. Для слива имеются краны *2*. Шкалу менисков спирта на нуль устанавливают регуляторами уровня *5*.

Прибор перед замерами устанавливают в горизонтальном положении винтовыми ножками *7* по круговому уровню *3*. На крышках чашек *1* и *4* установлены краны настройки B_1 и B_2 со штуцерами. На корпусе прибора смонтирован четырехходовой запорный кран A и перепускной кран настройки B_3.

Поворотную рамку *12* с тремя стеклянными трубками *8, 9* и *10* устанавливают на определенный угол наклона и фиксируют к скобе *11*. Каждая трубка имеет шкалу длиной 300 мм, разградуированную на миллиметры. Шкала трубки *8* показывает общее давление $\pm H_o$, трубка *9* — статическое $\pm H_{ст}$, трубка *10* — динамическое давление $H_д$. Нижний конец трубки *8*,

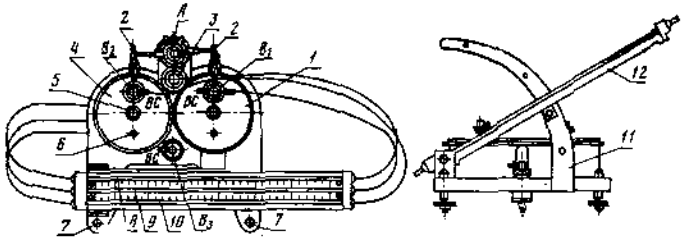


Рис. 16. Строенный дифференциальный микроманометр ЛТА-4:

1 и *4* — чашки; *2* — краны для слива жидкости; *3* — круговой уровень; *5* — регуляторы уровня; *6* — пробки для заливки жидкости; *7* — подвижные ножки; *8, 9, 10* — капиллярные трубки со шкалами; *11* — скоба с фиксатором; *12* — подвижная рамка со шкалами; *А* — четырехходовой запорный кран, B_1, B_2 и B_3 — краны настройки на нагнетательный и всасывающий режимы.



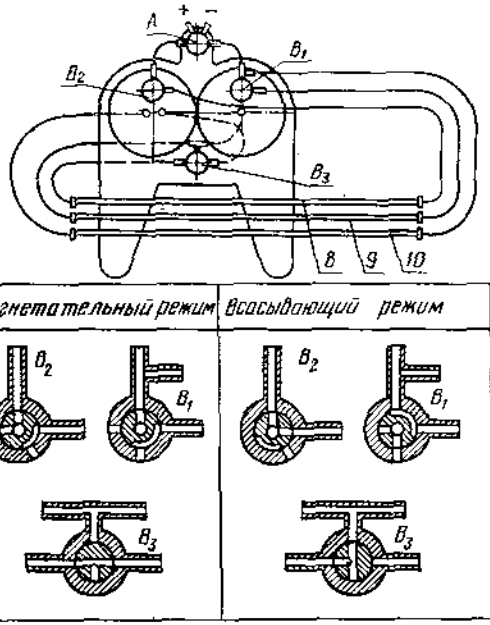


Рис. 17. Схема строенного дифференциального микроманометра ЛТА-4.

измеряющий полное давление, соединен резиновой трубкой со штуцером, установленным в днище чашки *4*, через перепускной кран B_3, как это показано на рисунке 17. Верхний конец трубки *8* соединен со штуцером крана B_2. Нижний конец трубки *9*, измеряющей статическое давление, соединен со штуцером днища чашки *1* через перепускной кран B_3. Верхний конец трубки *9* соединен со штуцером крана B_1.

Нижний конец трубки *10*, измеряющий динамическое давление, соединен со штуцером днища чашки *4*, а верхний конец со штуцером крана B_1.

Четырехходовой запорный кран *A* предназначен для включения прибора в рабочее положение. Прибор к замерам подготавливают при закрытом кране *A*, как это показано на рисунке 17. В этом случае атмосферное давление передается на спирт в чашки *1* и *4* и на спирт в измерительных трубках *8*, *9* и *10* через отверстие «О» в корпусе крана. При измерении давлений кран *A* открывают, поворачивая ручку крана против часовой стрелки (см. рис. 17). В этом случае полное давление от штуцера «плюс» передается к крану B_2, а статическое — от штуцера «минус» к крану B_1. При измерении давлений во всасывающем воздухопроводе ручку крана B_1 поворачивают против часовой стрелки, а ручки кранов B_2 и B_3 — по часовой стрелке до упоров.

При измерении давлений в нагнетательном воздухопроводе ручку крана B_1 поворачивают по часовой стрелке, а ручки кранов B_2 и B_3 — против часовой стрелки до упоров.

Прибор можно заполнять спиртом или толуолом. Для заправки прибора требуется 350 см^3 жидкости. При заливке прибора жидкостью через отверстия *6* регуляторы уровня *5* поднимают в верхнее положение; рукоятки кранов *A*, B_1, B_2, B_3 устанавливают в одно из крайних положений до упора; наклонные трубки *8*, *9* и *10* с рамкой *12* устанавливают на средний угол с синусом 0,5.

В каждую чашку заливают жидкость до тех пор, пока мениск в трубках не установится на 3...5 мм ниже нулевого деления шкалы.

Для повышения точности замеров и уменьшения колебаний менисков в резиновые трубки, соединяющие прибор с пневмометрической трубкой, вставляют демпферы в виде стеклянных трубок, заполненных ватой.

На скобе микроманометра показаны значения синусов: 0,25; 0,50; 0,80 и 1,00.

Основной недостаток строенных микроманометров ЛТА-3 и ЛТА-4 — невозможность точно измерять малые значения динамических давлений с минимальным углом наклона трубок. Для устранения этого недостатка капиллярная трубка динамического давления должна иметь отдельную рамку, независимую от трубок общего и статического давления, чтобы можно было устанавливать ее при замерах на минимальный угол наклона шкалы.

Мембранные микроманометры (тягонапоромеры). Мембранные микроманометры пружинного типа являются показывающими стрелочными приборами с концентрической или профильной шкалой.

Принцип работы мембранных микроманометров основан на уравновешивании разности измеряемого и атмосферного давлений силой упругой деформации мембраны и плоской пружины.

Чувствительный элемент этих приборов — мембранная коробка, состоящая из двух тонкостенных гофрированных мембран.

Мембранный микроманометр с концентрической шкалой (рис. 18) выпускают трех типов:

НМК — напоромер мембранный с концентрической шкалой с ходом мембраны вверх, предназначенный для измерения положительных избыточных давлений в нагнетательных воздухопроводах;

ТМК — тягомер мембранный с концентрической шкалой с ходом мембраны вниз, предназначенный для измерения отрицательных избыточных давлений во всасывающих воздухопроводах;

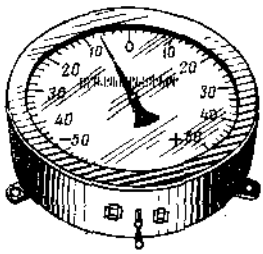


Рис. 18. Мембранный тягонапоромер с концентрической шкалой ТНМК.

ТНМК — тягонапоромер мембранный с концентрической шкалой, имеющий нуль посередине, с ходом вверх и вниз, позволяющий измерять положительные и отрицательные избыточные давления $\pm H$ во всасывающих, а также в нагнетательных воздухопроводах.

Измеряемое давление подводится к штуцеру (см. рис. 18)

и поступает в мембранную коробку, состоящую из двух гофрированных мембран — верхней и нижней. Центр нижней мембраны закреплен неподвижно, а центр верхней мембраны может перемещаться вверх или вниз в зависимости от величины измеряемого давления.

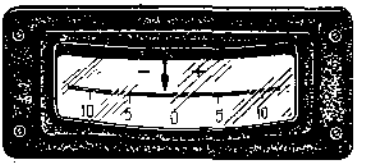


Рис. 19. Мембранный тягонапоромер с профильной шкалой ТНМП.

Мембранные тягонапоромеры с профильной шкалой выпускают также трех типов ТМП, НМП и ТМНП (рис. 19).

Основной недостаток мембранных микроманометров — чувствительность к вибрациям. Поэтому их применяют обычно в лабораторных условиях, монтируя на щитах с прокладками для уменьшения вибрации.

Штуцера и пневмометрические трубки. Для отбора давлений в вентиляционных установках применяют штуцера и пневмометрические трубки. Штуцера применяют для отбора статических давлений, действующих на внутренние стенки воздухопроводов, корпусов аспирируемого оборудования, циклонов и фильтров. Пневмометрические трубки позволяют измерять не только статическое, но также общее и динамическое давление в любой точке поперечного сечения воздушного потока.

Устройство штуцеров и способы их крепления к стенкам воздухопроводов и оборудованию показаны на рисунке 20. Для вентиляционных воздухопроводов, изготовляемых из тонколистовой оцинкованной стали толщиной меньше 1 мм, применяют штуцера *3* с конусной головкой и конусной гайкой *2* (см. рис. 20, *а*). При измерении статических давлений внутри аспирируемого оборудования, пылеотделителей и материалопроводов пневмотранспортных установок с толстыми стенками применяют штуцера, показанные на рисунке 20, *б* и *в*. У первого штуцера (рис. 20, *б*) отверстие для отбора статического давления ∅ 2 мм делают в хвостовике патрубка *3*, который ввертывается в гайку *2*, приваренную к стенке *1*, у второго (рис. 20, *в*) отверстие для отбора давления располагают непосредственно в стенке *1*.

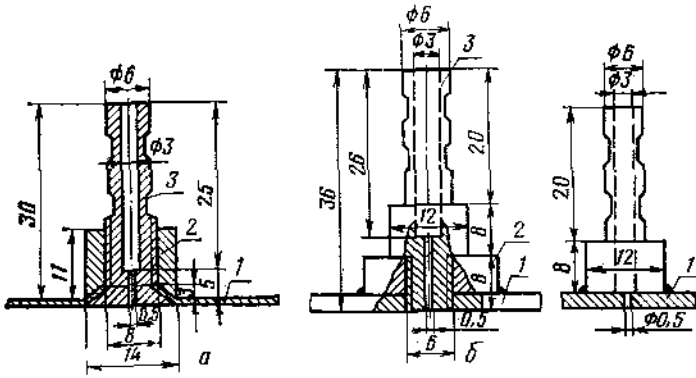


Рис. 20. Штуцера воздухопроводов:
а — штуцер для тонкостенных воздухопроводов; *б* и *в* — штуцера для толстостенных материалопроводов; *1* — стенка; *2* — гайка; *3* — штуцер.

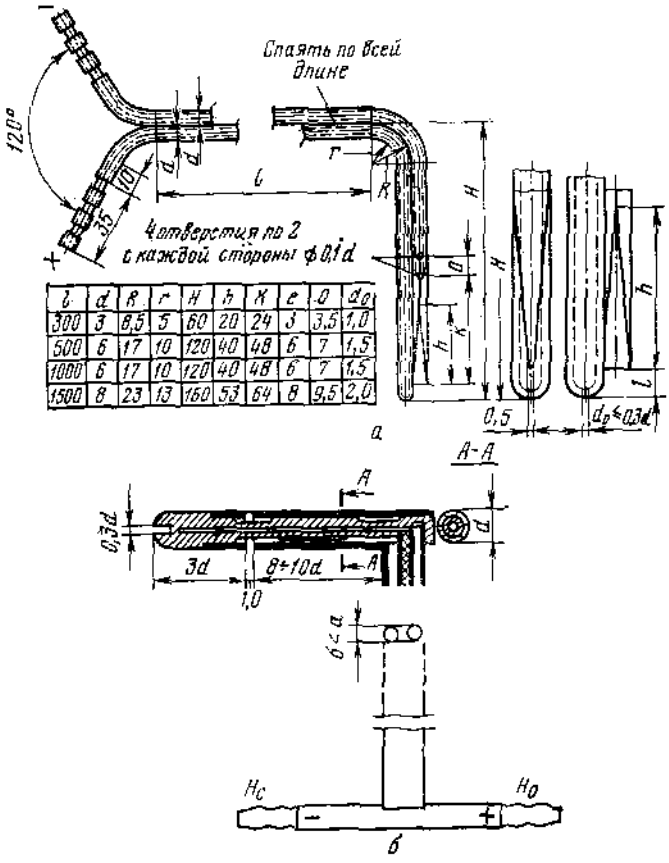
Основные требования, предъявляемые к правильному устройству штуцеров,— это перпендикулярность оси отверстия патрубка штуцера к стенке воздухопровода, а также отсутствие заусенцев и выступов кромок отверстия. Несоблюдение этих требований приводит к искажениям и ошибкам до 10%.

Применяют различные конструкции пневмометрических трубок. Наибольшее распространение находят пневмометрическая трубка МИОТ (Московского института охраны труда), показанная на рисунке 21, *а*, и комбинированная пневмометрическая трубка с полусферической головкой (рис. 21, *б*).

Пневмометрическая трубка МИОТ проще в изготовлении, чем комбинированная трубка с полусферической головкой. Трубка МИОТ состоит из двух латунных трубок диаметром от 3 до 6 мм, скрепленных хомутиками и спаянных друг с другом. Одна из этих трубок представляет собой трубку Пито с полусферической головкой с центральным отверстием диаметром $0{,}3d$ (где d — наружный диаметр трубки для отбора общего давления). Вторая трубка представляет собой статический зонд, имеет два отверстия диаметром $0{,}1d$, просверленных перпендикулярно оси трубки, которые предназначены для отбора статического давления. Конец этой трубки заострен в форме клина с углом не более 10°, чтобы устранить завихрения воздушного по-

тока и повысить точность измерений. Отверстия для отбора статического давления располагают на расстоянии $1{,}5d$ от конца плоскостей скоса. Оси этих отверстий должны быть перпендикулярны оси трубки.

Наружные поверхности обеих трубок должны быть гладкими, без выступов, вмятин и заусенцев. Измерительные концы обеих спаянных трубок изогнуты под углом 90°. Противоположные концы трубок отогнуты на 120°, имеют выступы для плотного надевания резиновых трубок при соединении с измерительными приборами.



l	d	R	r	H	h	K	e	O	d_0
300	3	8,5	5	60	20	24	3	3,5	1,0
500	6	17	10	120	40	48	6	7	1,5
1000	6	17	10	120	40	48	6	7	1,5
1500	8	23	13	160	53	64	8	9,5	2,0

Рис 21. Пневмометрические трубки:
а — типа МИОТ; *б* — комбинированная с полусферической головкой.

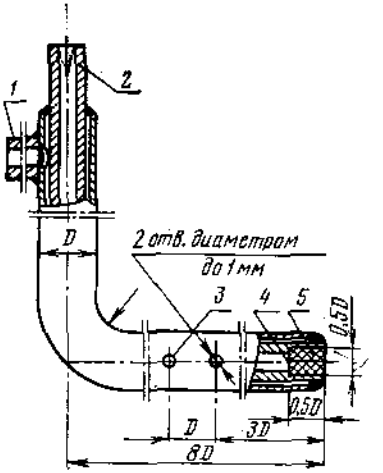


Рис. 22. Пневмометрическая трубка с фильтром:

1 — штуцер статического давления; *2* — штуцер общего давления; *3* — отверстия статического давления; *4* — паз подвойлочный или металлокерамический фильтр; *5* — фильтр.

Комбинированная пневмометрическая трубка с полусферической головкой состоит из трубки Пито для отбора общего давления и наружного кожуха с кольцевой щелью не более 1 мм для отбора статического давления.

При измерении давлений в сильно запыленных воздушных потоках применяют предложенную ВНИИЗ незабивающуюся комбинированную пневмометрическую трубку с фильтром (рис. 22). Отверстие в носике трубки для измерения общего давления просверливают после обработки под полусферу. Фильтр *5* из фетра или металлокерамики устанавливают в паз *4* таким образом, чтобы он не выступал наружу, а был заподлицо с носиком трубки. Фильтр *5* трубки периодически продувают воздухом.

При измерении давлений пневмометрическую трубку вставляют внутрь воздухопровода через специальные отверстия в стенке, которые предусматриваются при проектировании, изготовлении и монтаже до испытания вентиляционных установок. Размеры специальных отверстий для замеров с заглушками зависят от диаметра пневмометрической трубки, они обычно не превышают 25 мм.

Применяют несколько конструкций заглушек отверстий при измерении давлений в воздухопроводах.

Наибольшее применение имеет колпачковая заглушка (рис. 23). Прямоугольное отверстие в стенке воздухопровода *1* размером 14×25 мм или ∅ 25 мм закрывает резиновая прокладка *4* и колпачок *3*, который прижимается гайкой *2*. Специальный болт *6* с упором *5*, приваренным к головке болта, вставляют в отверстие воздухопровода и завинчивают гайку *2* до от-

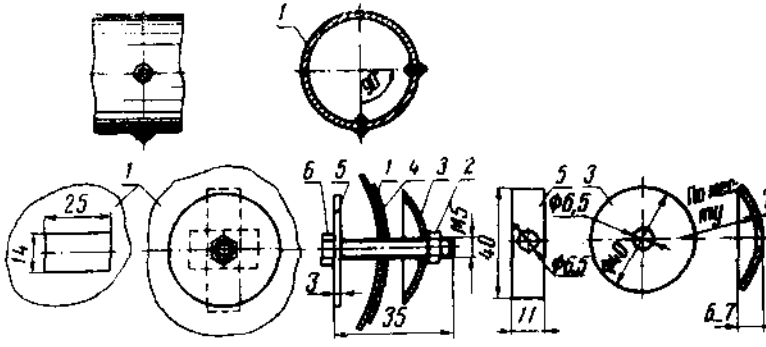


Рис. 23. Колпачковая заглушка:
1 — воздухопровод с отверстием 25×14 мм; *2* — гайка М6; *3* — колпачок; *4* — резиновая прокладка; *5* — упор; *6* — болт М6.

каза. Во время открытия отверстия перед замерами гайку *2* отвинчивают не полностью, чтобы предотвратить падение болта *6* внутри воздухопровода. Имеется заглушка, в которой прокладка *2* и колпачок *3* прижимаются пружиной, надетой на болт *6*. Преимущество такой конструкции состоит в экономии времени на открытие и закрытие заглушки, так как вместо отвинчивания и завинчивания гайки *2* достаточно сжать пружину между колпачком *3* и шайбой гайки *2*.

При измерении давлений пневмометрическую трубку устанавливают в воздухопровод таким образом, чтобы ее изогнутый конец с полусферической головкой был направлен против движения воздушного потока (рис. 24).

Во время отсчетов показаний давлений на шкале микроманометров необходимо, чтобы трубка была установлена строго перпендикулярно к стенке воздухопровода, а ее изогнутые концы располагались параллельно воздушному потоку.

Давления измеряют два человека: один устанавливает и следит за правильным положением пневмометрической трубки, другой ведет отсчет по шкале микроманометра и записывает результаты замеров.

Для более точных замеров следует применять координатники (кондуктора), которые дают возможность фиксировать правильное положение пневмометрической трубки в воздухопроводе.

На рисунке 24, *а* показано измерение общего, статического и динамического давлений во всасывающем воздухопроводе до вентилятора чашечным микроманометром с наклонной шкалой. На рисунке 24, *б* показано измерение давлений в нагнетательном воздухопроводе после вентилятора.

Для измерения общего давления во всасывающем воздухопроводе пневмометрическую трубку полного давления подсоединяют к штуцеру наклонной трубки микроманометра. При этом штуцер чашки открыт и соединен с атмосферой (см. рис. 24, *а*).

При измерении общего давления в нагнетательном воздухопроводе пневмометрическую трубку общего давления подсоединяют к штуцеру чашки микроманометра. При этом штуцер трубки соединен с атмосферой (см. рис. 24, б).

Схема измерения статического давления во всасывающем воздухопроводе показана на рисунке 24, *а*, а в нагнетательном воздухопроводе — на рисунке 24, *б*. Пневмометрическую трубку статического давления подсоединяют во всасывающем воздухопроводе к штуцеру трубки микроманометра, а штуцер чашки соединяют с

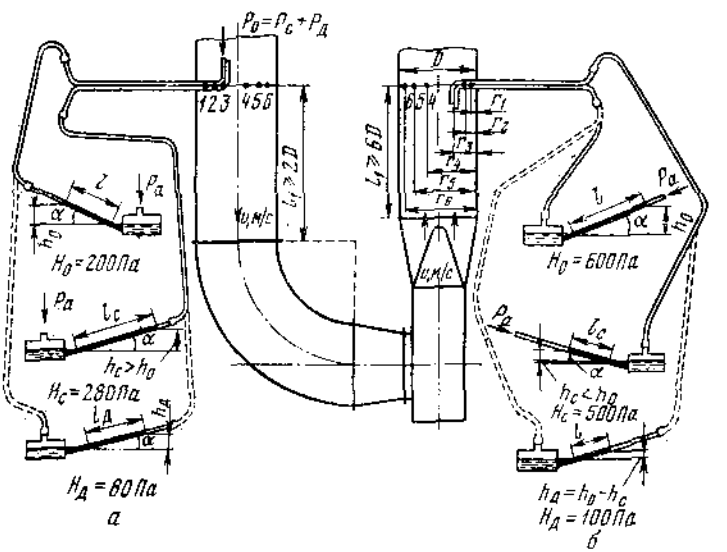


Рис. 24. Схема измерения давлений:
а — во всасывающем воздухопроводе; *б* — в нагнетающем воздухопроводе.

атмосферой. В нагнетательном воздухопроводе пневмометрическую трубку статического давления подсоединяют к штуцеру чашки микроманометра, а штуцер наклонной трубки соединяют с атмосферой.

Динамическое давление во всасывающем и нагнетательном воздухопроводах измеряют одинаково: полное давление от пневмометрической трубки подсоединяют к штуцеру чашки микроманометра, а статическое давление — к штуцеру наклонной трубки микроманометра (см. рис. 24).

Точки измерения давлений в воздухопроводах принимают по приложению 2 и по рисунку 45.

§ 2. Способы и приборы для измерения скоростей воздуха

В вентиляционной технике существует шесть способов определения скоростей воздушных потоков:

специальными приборами — анемометрами;

по динамическому давлению из формулы (7):

$$v = \sqrt{\frac{2H_д}{\rho}}$$

(в м/с) и для стандартного воздуха плотностью $\rho = 1{,}2$ кг/м^3

$$v = 1{,}29\sqrt{H_д}, \qquad (26)$$

где $H_д$ — динамическое давление в Па замеряют по схеме (см. рис. 24, *внизу*);

по сужающим устройствам (диафрагмам и трубам Вентури);

по входному коллектору, установленному на входе в воздухопровод;

по расходу воздуха Q (в м^3/с) и площади поперечного сечения S (в м^2) из формулы

$$v = \frac{Q}{S}; \qquad (27)$$

по показаниям охлаждающей способности воздуха кататермометром $H_к$ (в Дж/см^2·с) из эмпирических формул (30) и (31).

Первый способ измерения скорости анемометрами обычно применяют в открытых воздушных потоках и при больших диаметрах воздухопроводов, так как ане-

мометры имеют большие габаритные размеры и установка их внутри воздухопровода невозможна или вызывает трудности.

Второй способ определения скоростей по динамическому давлению — самый удобный при аэродинамических измерениях воздушных потоков воздухопроводов.

Третий и четвертый способы по сужающим устройствам и входному коллектору применяют обычно в лабораторных установках и на испытательных стендах.

Применение сужающих устройств (диафрагм и труб Вентури) в производственных вентиляционных установках на предприятиях не рекомендуется, так как они вызывают добавочные сопротивления и происходит забивание штуцеров пылью.

Пятый способ определения скоростей по расходу воздуха применяют во всех случаях, когда известен расход воздуха и площадь поперечного сечения.

Шестой способ определения скоростей по показаниям кататермометра применяют для измерения малых скоростей воздуха в помещениях, когда невозможно измерить низкую скорость воздуха другим способом, например анемометрами, из-за недостаточной их чувствительности, не превышающей 0,2 м/с.

Измерение скоростей воздуха анемометрами. Анемометрами называют приборы для измерения скоростей воздуха. По принципу действия анемометры бывают механические и электрические (электроанемометры сопротивления индукционные и др.).

К механическим относятся крыльчатые и чашечные анемометры, устройство которых показано на рисунке 25.

Крыльчатый технический анемометр (рис. 25, *а*) предназначен для измерения скоростей воздуха в пределах от 0,3 до 5 м/с при температурах от $-10°$ до $+50°$С. Погрешность измерения $\pm(0{,}06v+0{,}1)$ м/с, порог чувствительности до 0,2 м/с. Анемометр представляет собой лопастное колесо *2* диаметром около 80 мм с восемью лопатками, наклоненными к плоскости колеса под углом 45°. Вал колеса соединен системой передач, размещенных в корпусе счетного механизма *3*, со стрелками шкалы, которые показывают частоту вращения колеса в единицах, близких к значению пути

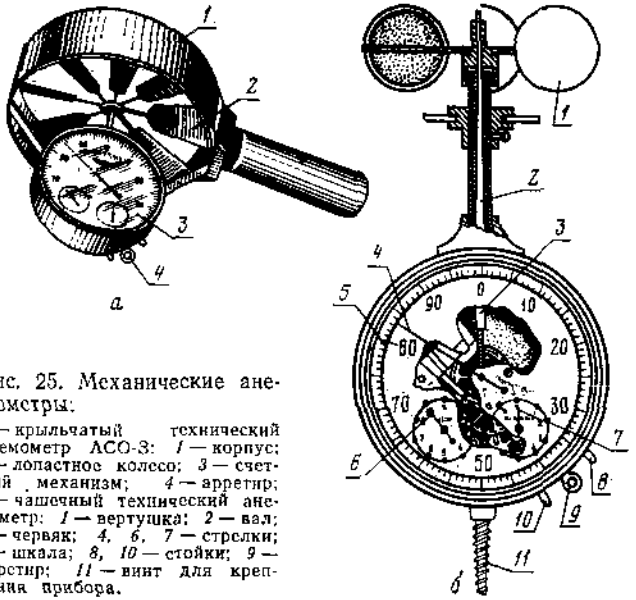


Рис. 25. Механические анемометры:

а — крыльчатый технический анемометр АСО-3: *1* — корпус; *2* — лопастное колесо; *3* — счетный механизм; *4* — арретир; *б* — чашечный технический анемометр: *1* — вертушка; *2* — вал; *3* — червяк; *4, 6, 7* — стрелки; *5* — шкала; *8, 10* — стойки; *9* — арретир; *11* — винт для крепления прибора.

в метрах, пройденному воздушным потоком через лопастное колесо.

Стрелки счетного механизма *3* включают и выключают поворотом арретира *4*, к которому привязывают шнурок для дистанционного включения и выключения прибора.

Отсчитав начальное показание стрелок по шкале до включения прибора l_0 и конечное показание l_t через продолжительность измерения t в секундах, находят скорость воздуха по следующей формуле:

$$v = K\frac{l_t - l_0}{t}, \qquad (28)$$

где K — тарировочный коэффициент, который дается в паспорте прибора.

Чувствительность крыльчатого анемометра повышается до 0,1...0,2 м/с, если увеличен диаметр колеса до 180 мм и применены слюдяные лопасти вместо металлических.

Принцип работы крыльчатого анемометра основан на использовании составляющей силы давления воз-

душного потока на крыло лопастного колеса, которое повернуто под углом 45° к направлению движения воздушного потока, что создает крутящий момент на валу крыльчатого колеса. Чем больше скорость воздуха, тем больше сила давления и тем больше скорость вращения колеса. Крыльчатый анемометр нельзя устанавливать в воздушный поток, имеющий скорость выше допустимого предела измерения прибора, так как это приведет к отрыву лопастей под действием центробежных сил.

Основные недостатки крыльчатых анемометров — малые пределы измерения и большие габаритные размеры; точность измерения зависит от наклона оси прибора к направлению воздушного потока.

Чашечные анемометры имеют большие пределы измерения и они более надежны. Технический чашечный анемометр (рис. 25, *б*) имеет пределы измерения от 1 до 20 м/с, погрешность измерения $\pm(0{,}06v+0{,}3)$ м/с, порог чувствительности 0,8 м/с. Чашечный анемометр (рис. 25, *б*) представляет собой четырехчашечную вертушку *1*, закрепленную на конце вала *2*, вращающегося в камневых опорах. На нижнем конце вала имеется червяк *3*, сообщающий вращение червячному колесу, от которого через промежуточные шестерни вращение передается трем стрелкам шкалы счетного механизма. Центральная стрелка *4* показывает на шкале *5* единицы, левая стрелка *6* — сотни, а правая стрелка *7* — тысячи.

Стрелки счетного механизма включают и выключают арретиром *9*. Наружный конец арретира может передвигаться в пазу корпуса прибора. Внутренний конец арретира перемещает червячное колесо в осевом направлении и выводит его из зацепления с червяком. При включении стрелок счетного механизма арретир поворачивают к стойке *8*, при выключении — к стойке *10*. Через отверстия стоек *8* и *10* может быть пропущен шнурок для включения и выключения стрелок счетного механизма на расстоянии.

В нижней части пластмассового корпуса имеется винт *11* для крепления чашечного анемометра к деревянной ручке.

При измерении скорости воздуха чашечным анемометром ось прибора должна быть установлена перпендикулярно направлению движения воздушного потока.

Принцип работы чашечного анемометра основан на использовании разности сил давления воздушного потока на правую и левую чашки вертушки. Независимо от направления воздушного потока, перпендикулярного оси прибора, сила давления на левую чашку, у которой обдувается открытая часть, будет больше, чем на правую чашку, у которой обдувается сферическое донышко. Поэтому чашечная вертушка имеет всегда одно направление вращения, в данном случае по часовой стрелке.

Чем больше разность между коэффициентами аэродинамического сопротивления правой и левой чашек вертушки анемометра, тем больше крутящий момент на валу. Чем выше скорость воздуха, тем больше крутящий момент и тем больше скорость вращения стрелок счетного механизма.

Шкала анемометра градуирована обычно на путь воздуха в метрах с учетом поправочного коэффициента.

Порядок измерения скорости воздуха чашечным анемометром:

записывают начальное показание l_0 шкалы счетчика анемометра при выключенных стрелках;

устанавливают прибор в воздушный поток так, чтобы ось была перпендикулярна направлению потока;

включают одновременно секундомер и стрелки анемометра;

через промежуток времени $t \cong 60$ с выключают секундомер и стрелки анемометра;

записывают конечное показание l_t шкал счетчика анемометра;

находят скорость воздуха по формуле (28).

Механические анемометры требуют аккуратного обращения. При сотрясениях и ударах цапфы валов счетного механизма и камневые опоры легко повреждаются. Хранить анемометры следует в футлярах с выключенным механизмом.

В электрических анемометрах (электроанемометрах) обычно используется принцип преобразования механической энергии движущегося воздушного потока в электрическую энергию. Так, дистанционный крыльчатый электроанемометр ЦАГИ (рис. 26) работает по принципу генератора. Электроанемометр имеет крыльчатое колесо *1* $\varnothing$ 30...40 мм, закрепленное на валу миниатюрного генератора *2*. При вращении крыль-

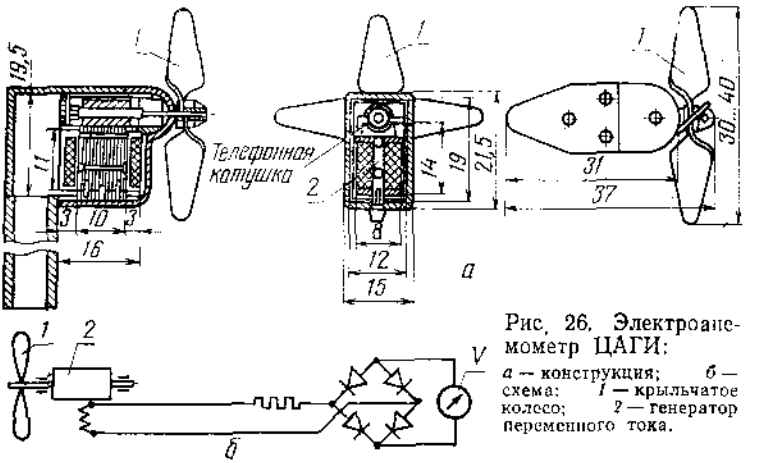


Рис. 26. Электроанемометр ЦАГИ:
а — конструкция; *б* — схема: *1* — крыльчатое колесо; *2* — генератор переменного тока.

чатого колеса в генераторе вырабатывается ЭДС напряжением до 6 В, которая передается по проводам к магнитоэлектрическому вольтметру. Вольтметр градуирован на скорость воздуха в пределах от 5 до 20 м/с.

Преимущества электроанемометра ЦАГИ следующие: возможность фиксировать скорость на расстоянии от точки замера; малые габаритные размеры, вызывающие незначительные возмущения воздушного потока при измерениях; непосредственное показание скорости на шкале прибора.

Основной недостаток электроанемометра ЦАГИ — низкая точность и сложность определения, поэтому он не получил широкого распространения.

Существуют также электроанемометры, работающие по принципу электромагнитной индукции. К этому типу относится ручной индукционный электроанемометр типа АРИ-49 (рис. 27).

Индукционный электроанемометр снабжен чашечной вертушкой *1* ∅ 114 мм, закрепленной на наружном конце вала *3*, который может вращаться в шариковых подшипниках *4* и *5*. На другом конце вала *3* внутри корпуса закреплена магнитная система, состоящая из постоянного магнита *7* и магнитопровода *8*, которые вращаются вместе с чашечной вертушкой. В воздушный кольцевой зазор между постоянными магнитом и магнитопроводом, где имеется магнитное поле, вставлен цилиндрический тонкостенный колпачок *11* из специ-

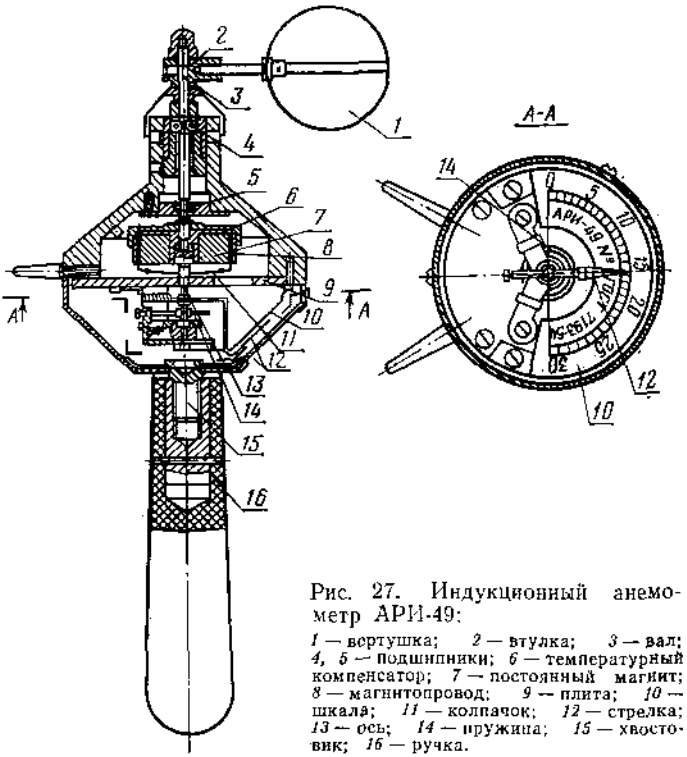


Рис. 27. Индукционный анемометр АРИ-49:

1 — вертушка; *2* — втулка; *3* — вал; *4, 5* — подшипники; *6* — температурный компенсатор; *7* — постоянный магнит; *8* — магнитопровод; *9* — плита; *10* — шкала; *11* — колпачок; *12* — стрелка; *13* — ось; *14* — пружина; *15* — хвостовик; *16* — ручка.

ального сплава. Он имеет самостоятельную ось *13* с опорами и может поворачиваться на определенный угол.

При вращении чашечной вертушки воздушным потоком происходит вращение магнитного поля кольцевого зазора и пересечение магнитными силовыми линиями стенок металлического колпачка *11*, в котором возникают вихревые электрические токи. Взаимодействие вихревых электрических токов колпачка с магнитным полем вращающейся системы вызывает поворот колпачка *11* и закрепленной на оси его стрелки *12* на определенный угол. Величина угла поворота колпачка *11* со стрелкой *12* пропорциональна частоте вращения вертушки.

Когда вращение прекращается, стрелка прибора с колпачком возвращаются в первоначальное положение

посредством спиральной пружины *14*, которая закручивается во время поворота колпачка.

Шкала индукционного анемометра градуирована непосредственно на скорость воздушного потока в пределах от 2 до 30 м/с с погрешностью $\pm(0{,}05v+0{,}5)$ м/с, где v — измеряемая скорость. Чувствительность прибора не выше 1,5 м/с.

Основные недостатки индукционного электроанемометра АРИ-49 следующие: большие габаритные размеры, низкая точность и невозможность наблюдения за показаниями шкалы прибора на расстоянии от точки измерения скорости.

Имеются также электроанемометры сопротивления, работа которых основана на принципе изменения электрического сопротивления платиновой нити накала, которая охлаждается при обдувании воздушным потоком. Такой прибор состоит из латунного или бронзового кольца, в котором на изоляторах натянута платиновая нить накала. Через нить пропускается электрический ток, который нагревает ее до определенной температуры. При вводе кольца с нитью в воздушный поток нить охлаждается и ее электрическое сопротивление уменьшается. Шкала прибора, фиксирующая изменение электрического сопротивления нити накала, градуирована непосредственно на скорость воздуха. Электроанемометры сопротивления можно применять только при чистом незапыленном воздухе. Их применение при запыленном воздухе вентиляционных установок запрещается из-за пожаровзрывоопасности.

Определение скорости воздуха по динамическому давлению. Для определения скорости воздуха в любой точке воздушного потока воздухопровода нужно измерить динамическое давление $H_д$ в этой точке пневмометрической трубкой и микроманометром по схеме, приведенной на рисунке 24, *внизу*. По найденному динамическому давлению находят скорость по формуле (26): $v=1{,}29\sqrt{H_д}$, или по таблице приложения 3.

Методика измерения средней скорости воздушного потока в заданном сечении воздухопровода изложена в лабораторной работе № 2 (см. стр. 83).

Определение скорости воздуха по сужающим устройствам. Сужающими устройствами называют диафрагмы и трубы Вентури. Измерение скорости воздуха по сужающим устройствам основано на протекании по-

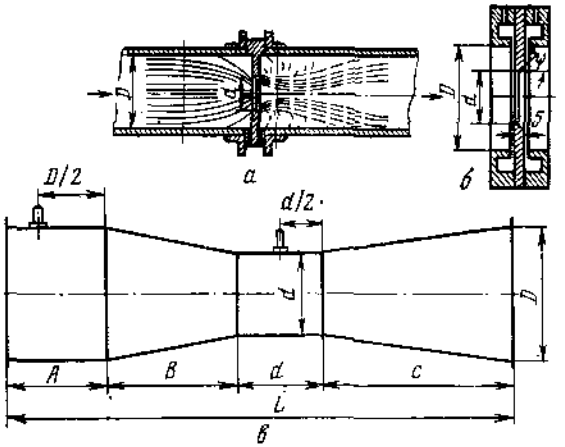


Рис. 28. Сужающие устройства:
а и *б* — диафрагмы плоская и камерная; *в* — труба Вентури.

тока через местное сужение. При этом происходит повышение скорости в узком сечении, превращение части потенциальной энергии в кинетическую, в результате чего создается перепад статических давлений, который замеряется микроманометром.

На рисунке 28 показано устройство плоской и камерной диафрагм. Толщину диафрагмы принимают $\delta=0{,}05D$, угол раскрытия $\varphi=30...45°$.

Статическое давление до и после диафрагмы измеряют через два штуцера или более точно через кольцевую камеру не менее чем через шесть отверстий $\varnothing$ 4 мм.

Устройство трубы Вентури для вентиляционных воздухопроводов показано на рисунке 28, *в*, а размеры приведены в таблице 1.

Модуль сужающих устройств $m=(d/D)^2$ принимают от 0,2 до 0,4. Минимальная длина прямого участка до и после сужающего устройства должна быть $3{,}5D$ при $m=0{,}2$ и $5{,}5D$ при $m=0{,}4$.

Средняя скорость воздуха в воздухопроводе по сужающим устройствам определяют по следующей формуле (в м/с):

$$v_{ср}=K\sqrt{H_{ст}},$$

где $H_{ст}$ — статическое давление как разность давлений до и после сужающего устройства, Па; K — тарировочный коэффициент, зависящий от конструкции сужающего устройства.

Таблица 1. **Размеры труб Вентури для вентиляционных воздухопроводов**

Диаметр, мм	Размеры, мм (см. рис. 28 *в*)				
	A	*B*	*C*	*d*	*l*
800	500	780	1100	510	2890
630	400	620	870	400	2290
500	300	485	685	320	1790
450	280	430	665	290	1665
400	250	395	555	255	1455
315	200	310	435	200	1145

Определение скоростей по входному коллектору. Если на входе воздуха в воздухопровод есть возможность установить входной коллектор, как это показано на лабораторном стенде (см. рис. 5), то среднюю скорость воздуха в воздухопроводе определяют по следующей формуле (в м/с):

$$v = 1{,}29 K_к \sqrt{H_{ст}}, \qquad (29)$$

где $H_{ст}$ — статическое давление (в Па) по штуцеру, установленному около коллектора (рис. 29); $K_к$ — коэффициент входного коллектора, зависит от его конструкции и коэффициента сопротивления. Обычно коэффициент сопротивления входных коллекторов, профилированных по дуге круга (см. рис. 29), равен $\zeta = 0{,}02...0{,}05$. Для такого коллектора величина $K_к = 0{,}985 \pm 0{,}005$.

Формулу (29) выводят из уравнения Д. Бернулли для двух сечений, одно из которых принимают в атмосфере, где $H_{ст} = 0$ и $H_д = 0$, второе — в месте установки штуцера. Получают $\pm H_{ст} + H_д + H_{вх} = 0$, где $H_{вх} = \zeta H_д = (0{,}02...0{,}05) H_д$ — потери давления на входе во входном коллекторе. Или $\pm H_{ст} + H_д + (0{,}02...0{,}05) H_д = 0$.

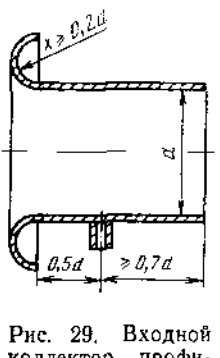


Рис. 29. Входной коллектор, профилированный по дуге круга.

С учетом отрицательного знака $H_{ст} = (1{,}02...1{,}05) H_д$, откуда $H_д = (0{,}98...0{,}95) H_{ст}$. Так как $v = 1{,}29\sqrt{H_д}$, то после преобразований получают формулу (29).

Определение скоростей по расходу воздуха и показаниям кататермомет-

ра. Способ определения средней скорости по расходу воздуха можно применять, если расход найден каким-*либо другим способом в одном из последовательных* сечений, а подсосы или утечки незначительны и расход можно принять постоянным на основании уравнения неразрывности.

В этом случае среднюю скорость воздуха определяют из уравнения неразрывности по следующей формуле:

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2},$$

где Q — расход воздуха, м³/с; D — диаметр воздухопровода, м.

Способ определения скорости воздуха по кататермометру обычно применяют при малых скоростях (меньше 0,5 м/с). Например, в рабочих помещениях, когда недостаточная чувствительность анемометров не позволяет ими воспользоваться.

Кататермометром называют прибор для определения охлаждающей способности воздуха в рабочих помещениях.

Скорость воздуха по показаниям кататермометра находят из следующих эмпирических формул:

$$\text{при } v<1{,}0 \text{ м/с } v = \left[\frac{\frac{H_к}{(36{,}5-t)4{,}19} - 0{,}2}{0{,}4}\right]^2; \qquad (30)$$

$$\text{при } v>1{,}0 \text{ м/с } v = \left[\frac{\frac{H_к}{(36{,}5-t)4{,}15} - 0{,}13}{0{,}47}\right], \qquad (31)$$

где t — температура измеряемого воздуха, °С; $H_к$ — охлаждающая способность воздуха по кататермометру (в кал/см²·с), находят из формулы

$$H_к = \frac{\Phi}{T}, \qquad (32)$$

1 кал = 4,1868 Дж,

где Φ — постоянный коэффициент или фактор кататермометра (выгравирован на приборе или дан в паспорте), кал/см² или Дж/см²; T — время охлаждения прибора с верхнего до нижнего деления шкалы, с.

Кататермометры (рис. 30) — спиртовые термометры

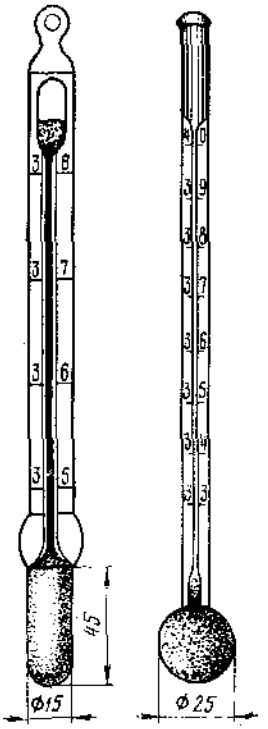


Рис. 30. Кататермометры: *а* — цилиндрический; *б* — шаровой.

с цилиндрическим или шаровым резервуаром и расширяющимся вверху капилляром. Градуировка шкал температур от +33 до +40°С или от +35 до 38°С, что соответствует средней температуре человеческого тела.

Кататермометром пользуются следующим образом. Погружают нижний резервуар прибора в теплую воду при температуре +80°С до тех пор, пока спирт не заполнит $^3/_4$ верхнего резервуара; затем прибор вынимают, обтирают марлей и подвешивают на штативе в том месте, где необходимо определить охлаждающую способность.

Измеряют секундомером время охлаждения прибора с верхнего до нижнего деления шкалы и по формуле (32) находят $H_к$. Подставляя найденное значение $H_к$ в формулу (30) или (31), определяют скорость воздуха.

Величина нормальной охлаждающей способности по кататермометру в зависимости от вида труда должна иметь следующие значения:

для легкого труда $H_к$= 6,0 кал/(см²·с) =25 Дж/(см²·с)
» среднего » $H_к$=12,0 кал/(см²·с) =50 Дж/(см²·с).
» тяжелого » $H_к$=18,0 кал/(см²·с) =75 Дж/(см²·с)

§ 3. Способы и приборы для измерения запыленности воздуха

В вентиляционной технике существует несколько способов определения запыленности воздуха. К прямым способам относятся весовой и количественный, к косвенным (экспрессным) — фотометрический, электрический, электростатический, акустический.

Запыленность воздуха определяют в рабочих помещениях для нормальных условий труда по

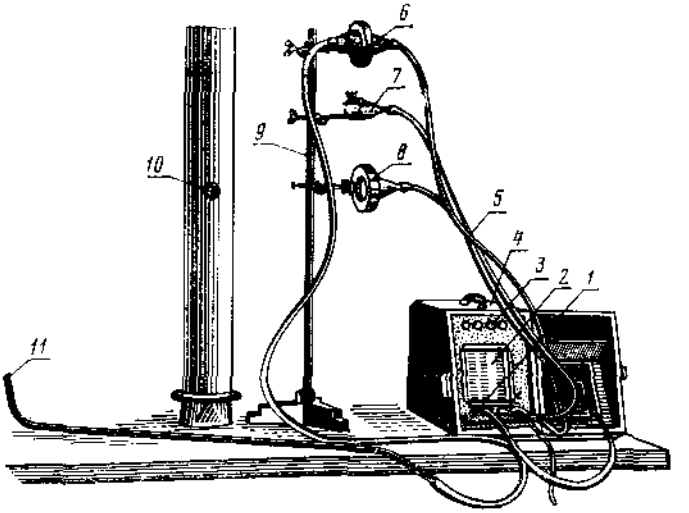


Рис. 31. Лабораторная установка для определения запыленности воздуха:

1 — штуцер;, *2* — ротаметр; *3* — регулятор расхода воздуха; *4* — ротационная воздуходувная машина; *5* — резиновая трубка; *6* — комбинированный патрон для определения запыленности воздуха в воздухопроводе; *7* — стеклянная трубка с ватным фильтром (аллонж); *8* — патрон с фильтром АФА-ВП для определения запыленности воздуха в помещении; *9* — штатив; *10* — воздухопровод с отверстием для замеров; *11* — пылезаборная трубка.

ГОСТ 12.1.005—76, внутри вентиляционных воздухопроводов, в аспирируемом оборудовании, в пылеотделителях для устранения взрывоопасных концентраций и предотвращения пылевых взрывов.

Весовой способ определения запыленности. Наибольшее применение в настоящее время как более надежный имеет весовой способ определения запыленности воздуха. Для этого служит специальная лабораторная установка, которая состоит из следующих приборов: пылезаборного устройства, фильтра, расходомера, воздуходувной машины или пылесоса.

При определении запыленности воздуха применяют специальные патроны с фильтрами из синтетических материалов типа АФА-ВП-10 или АФА-ВП-18 (аналитические фильтры аэрозольные весовые перхлорвиниловые Петрянова площадью 10 или 18 см^2). Лабораторная установка показана на рисунке 31.

При определении запыленности воздуха в помещении на штативе *9* закрепляют пылезаборный патрон *8*,

в котором находится фильтр АФА-ВП из синтетического материала ФПП-1,5-10 (фильтровальный перхлорвиниловый Петрянова с толщиной волокон 1,5 мкм, сопротивление 15 Па). При отсутствии фильтров применяют аллонж 7 с ватным фильтром. Аллонж представляет собой стеклянный цилиндр ∅ 20 мм, длиной 100 мм, один или оба конца которого заканчиваются конусами с патрубками ∅ 8...10 мм, служащими для присоединения резиновых трубок. Цилиндр на длине 40 мм заполняют равномерным слоем стеклянной ваты так, чтобы сопротивление фильтровального слоя было не менее 4000 Па при расходе 10 л/мин.

Устройство фильтра АФА-ВП-10 или АФА-ВП-18 и патрона к нему показано на рисунке 32. Фильтр *1*,

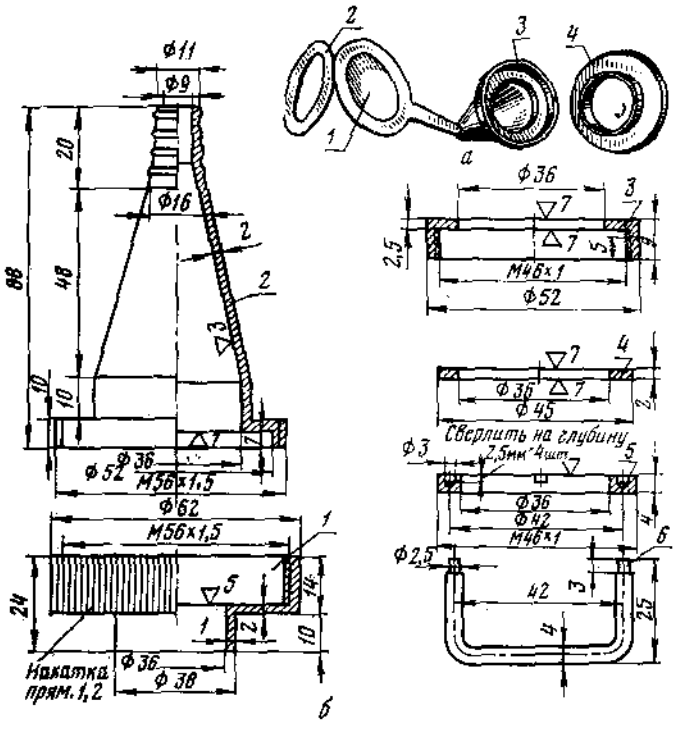


Рис. 32. Устройство фильтра и патрона:

а — фильтр АФА-ВП; *1* — фильтр; *2* — защитные бумажные кольца; *3* — корпус конусного патрона; *4* — зажимная гайка; *б* — патрон к фильтру АФА-ВП-10; *1* — зажимная гайка; *2* — корпус патрона; *3* — кассета; *4* — шайба; *5* — специальная гайка; *6* — ключ.

имеющий форму диска, с защитными кольцами *2* в нерабочем состоянии помещен в отдельный пакетик из кальки. Фильтр устанавливают в выточку конусного патрона *3* и закрепляют зажимной гайкой *4*. Конусный патрон 3 изготовлен из металла (алюминия) или пластмассы (см. рис. 32, *б*).

Существует также конструкция патрона с кассетой. Фильтр помещают в кассету *3* и закрепляют шайбой *4* и специальной гайкой *5* с помощью ключа *6* (см. рис. 32, *б*). Кассету с закрепленным фильтром устанавливают в выточку патрона *2* и зажимают гайкой *1*.

При определении запыленности воздуха в воздухопроводах применяют комбинированный патрон с обратным конусом *6* и пылезаборную трубку *11* (см. рис. 31).

Конструкция комбинированного патрона показана на рисунке 33. Фильтр зажимается в выточку между патроном и обратным конусом, которые соединяются резьбой. Патрубок обратного конуса комбинированного патрона *6* соединяют резиновым шлангом с пылезаборной трубкой *11*, как это показано на рисунке 31.

Пылезаборную трубку устанавливают в воздухопровод так же, как и пневмометрическую трубку, и отбирают пылевые пробы в тех же точках, в которых измеряют динамическое давление и скорости. Пылезаборная трубка имеет отшлифованный внутренний диаметр 4...6 мм.

Для уменьшения сопротивлений и потерь пыли комбинированный патрон с фильтром соединяют непосредственно с пылезаборной трубкой, как это показано на рисунке 34. Пылезаборную трубку *2* вставляют в патрон *4* и крепят к корпусу стопорным болтом *9*.

Пылезаборную трубку *2* к воздухопроводу *1* крепят с использованием патрона *4* сверлильного станка. Зажимные кулачки *3* патрона *4* вводят в отверстие воздухопровода $\varnothing$ 14 мм и затем зажимают их. К трубке припаян указатель *6* для определения ее положения относительно воздухопровода. Для передвижения трубки в другое положение опускают стопорный болт *9*, затем снова его закрепляют.

Для более точных замеров концентраций пыли в воздухопроводах необходимо соблюдать условие изокинетичности потоков, а также отбирать пробы не менее чем в шести точках по двум взаимноперпендикулярным направлениям. Сечения для отбора проб следует

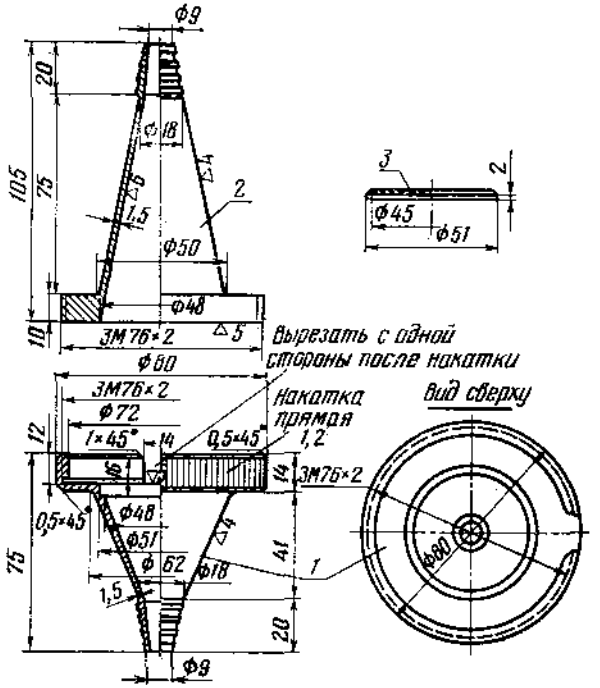


Рис. 33. Патрон с обратным конусом для определения запыленности в воздухопроводах:

1 — обратный конус; *2* — патрон; *3* — латунная сетка, напаянная на кольцо.

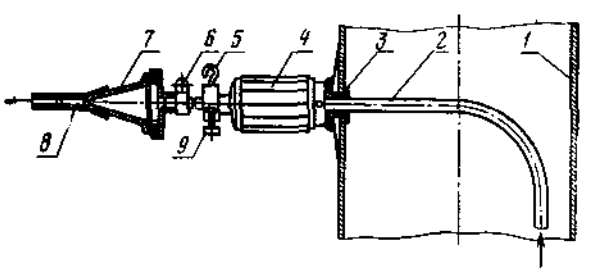


Рис. 34. Крепление пылезаборной трубки к воздухопроводу:

1 — воздухопровод; *2* — пылезаборная трубка; *3* — зажимные кулачки патрона; *4* — зажимной патрон сверлильного станка; *5* — крюк; *6* — указатель положения трубки; *7* — патрон с фильтром АФА-В-10; *8* — резиновая трубка; *9* — болт.

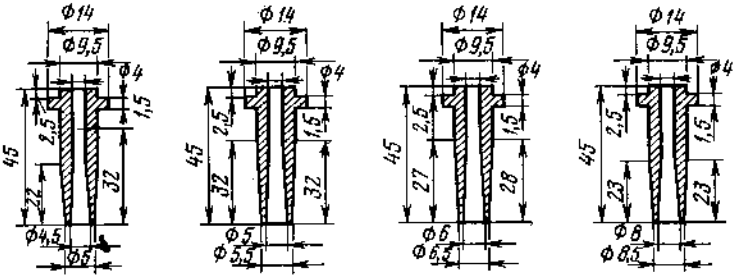


Рис. 35. Сменные насадки к пылезаборным трубкам.

принимать на выравненных потоках на прямых участках, так как концентрация пыли в различных точках поперечного сечения колеблется в широких пределах из-за влияния завихрений потоков и сил тяжести.

Условие изокинетичности потоков состоит в том, чтобы скорость воздуха в отверстии пылезаборной трубки $v_т$ была равна скорости воздуха и в данной точке воздухопровода v, где отбирается проба, т. е. $v_т = v$. *При завышении скорости в трубке запыленность* получают заниженной; при меньшей скорости воздуха в трубке запыленность будет выше фактической. Поэтому перед отбором пылевых проб замеряют динамические давления пневмометрической трубкой и определяют скорости воздуха во всех точках отбора проб.

Скорость воздуха в отверстии пылезаборной трубки регулируют изменением расхода воздуха q (в л/мин), просасываемого через фильтр ротационной воздуходувной машиной *4*, вращением регулятора *3*, наблюдая показания шкалы ротаметра *2* (см. рис. 31).

Если не представляется возможным получить заданную скорость $v_т$ изменением расхода воздуха по ротаметру, то изменяют диаметр пылезаборной трубки или внутренний диаметр входного отверстия пылезаборной трубки, применяя сменные насадки (рис. 35).

Внутренний диаметр пылезаборной трубки или насадки (в мм) находят по графику (рис. 36) или рассчитывают по следующей формуле:

$$d = 4{,}4\sqrt{\frac{q}{v}}, \qquad (33)$$

где q — расход воздуха по ротаметру или реометру, л/мин; v — скорость воздуха в точке отбора пылевой пробы, м/с.

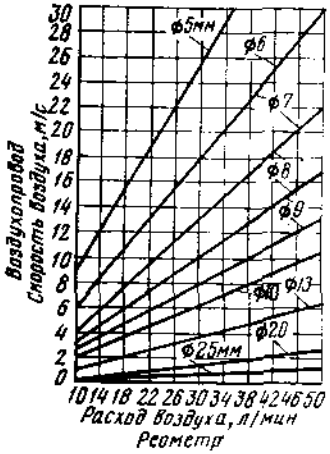


Рис. 36. График зависимости расхода и скорости воздуха от диаметра входного отверстия пылезаборной трубки.

Расстояние от фасонной части до места измерения принимают 5...6 диаметров, до фасонной части от места измерения – не менее 2...3 диаметров. Объем просасываемого запыленного воздуха принимают в зависимости от предполагаемой концентрации пыли — менее 2 мг/м³, 2..10, 20...50, 50... 150 и более 150 мг/м³, объем воздуха 1000, 500, 300, 200 и 100...50 л.

Иногда вместо пневмометрической и пылезаборной трубок применяют одну комбинированную пылезаборно пневмометрическую трубку (рис. 37). Она позволяет одновременно отбирать пылевую пробу через комбинированный патрон и замерять динамическое давление микроманометром в одной и той же точке воздухопровода.

Запыленность воздуха (в мг/м³) определяют по формуле

$$a = \frac{1000\,(A_2 - A_1)}{qt}, \qquad (34)$$

где A_1 и A_2 — масса фильтра или аллонжа до и после опыта, мг (взвешивают на аналитических весах); q — расход воздуха по показаниям шкалы ротаметра или реометра, л/мин; t — время отбора пробы запыленного воздуха, мин.

Время отбора пробы воздуха определяют по формуле

$$t_{\min} = \frac{1000A_{\min}}{aq}, \qquad (35)$$

где $A_{\min}$ — минимальная привеска фильтра ($A_{\min} \cong 1$ мг); a — предполагаемая концентрация, т. е. запыленность, мг/м³.

Максимальное время (в мин) отбора пылевой пробы находят по формуле

$$t_{\max} = \frac{1000A_{\max}}{aq}, \qquad (36)$$

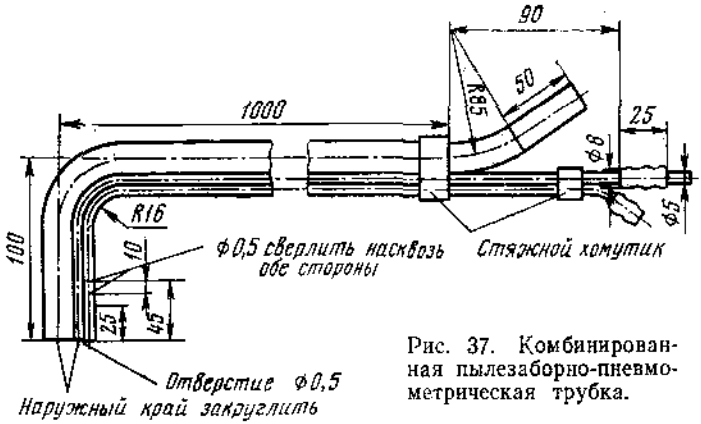


Рис. 37. Комбинированная пылезаборно-пневмометрическая трубка.

где A_{max} — максимальная привеска пыли в фильтре (для фильтров АФА-ВП-18 $A_{max}=50$ мг, для фильтра АФА-ВП-10 $A_{max}=25$ мг).

Ротационная переносная установка *4* (см. рис. 31) имеет малые габаритные размеры и дает возможность одновременного параллельного отбора проб из четырех точек на четырех самостоятельных штуцерах *1* и ротаметрах *2*. Для регулирования и поддержания постоянства расхода воздуха служат регуляторы расхода *3*, вмонтированные в верхнюю часть щита над каждым ротаметром.

Ротаметр представляет собой вертикальную стеклянную конусную трубку, расширяющуюся снизу вверх, с малым углом раскрытия. Внутри трубки свободно помещен специальный конусный поплавок или шарик, который поддерживается во взвешенном состоянии воздушным потоком, перемещающимся снизу вверх. Чем больше расход воздуха, тем выше поднимается шарик в конусной трубке и тем большая площадь кольцевого зазора открывается для прохода воздуха. Вертикальная шкала трубки ротаметра тарирована на расход воздуха в *л/мин*. Электродвигатель ротационной воздуходувной машины питается от сети переменного тока напряжением 220 В.

При отсутствии ротационной установки с ротаметрами применяют пылесос и жидкостный реометр-индикатор. Реометр состоит из чашечного микроманометра с вертикальной неподвижной трубкой и поворотной ци-

линдрической диафрагмы для изменения сопротивления и расхода воздуха.

Чашка микроманометра имеет форму цилиндра с вертикальной осью. Верхний конец цилиндра соединен металлической трубкой со штуцером диафрагмы на входе воздуха. Нижний конец цилиндра, заполненный жидкостью, соединен с вертикальной стеклянной трубкой, имеющей шкалу. Верхний конец стеклянной трубки имеет резервуар и соединен со штуцером диафрагмы на выходе воздуха.

В реометр заливают воду или спирт. Шкала реометра отградуирована на расход воздуха в л/мин в зависимости от положения диафрагмы.

Если параметры воздуха, в котором замеряется запыленность, отличаются от нормальных, то следует пересчитать концентрацию на нормальное состояние воздуха по формуле

$$a_{н}=a\frac{T}{273}\cdot\frac{P_{н}}{P}, \tag{37}$$

или

$$a_{н}=a/m,$$

где a — концентрация при рабочих параметрах воздуха, определяют по формуле (34); $a_{н}$ — концентрация при нормальном состоянии воздуха; $m=\frac{273}{T}\cdot\frac{P}{P_{н}}$ — поправочный коэффициент на приведение объема воздуха к нормальным условиям; T — температура воздуха при испытаниях, °К ($T=273+t$°С); P — давление измеряемого воздуха, Па; $P_{н}=101\,300$ Па — нормальное давление воздуха.

Расход воздуха и средняя скорость при измерениях также зависят от температуры, давления и влажности.

Перерасчет расхода воздуха и средней скорости, замеренных при рабочих условиях, на нормальные условия расхода и средней скорости проводят по следующим формулам:

$$Q_{н}=Q\frac{273}{T}\cdot\frac{P}{P_{н}}, \tag{38}$$

или

$$Q_{н}=Qm.$$

$$v_{н}=v\frac{273}{T}\cdot\frac{P}{P_{н}}, \tag{39}$$

или

$$v_{н}=vm.$$

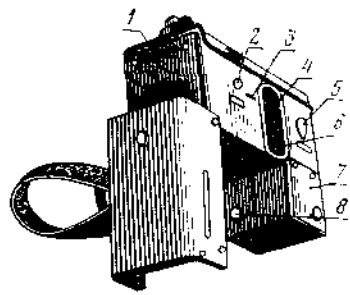


Рис. 38. Фотопылемер Ф-1:
1 — микроамперметр; *2* — кнопка включения прибора; *3* — корпус прибора (верхняя часть); *4* — регулятор накала (установка нуля); *5* — регулятор напряжения; *6* — переключатель пределов измерения; *7* — камера фотодатчика; *8* — пылевая камера.

Методика измерения запыленности воздуха этими приборами изложена в лабораторных работах № 8 и 9 (см. гл. IV).

Фотометрический способ определения запыленности. Контрольно-измерительные приборы, используемые при фотометрическом способе, так называемые фотопылемеры, сконструированы на принципе измерения величины ослабления светового потока, проходящего через слой запыленного воздуха. К этому типу приборов относятся фотопылемеры Ф-1 и Ф-2.

Фотопылемер Ф-1 (рис. 38 и 39) предназначен для систематического контроля запыленности воздуха в угольных шахтах. Переносной портативный прибор имеет взрыво-искробезопасное исполнение. В приборе имеется два предела измерения запыленности воздуха: от 0 до 1,5 г/м³ с точностью ±0,05 г/м³ и от 0 до 15 г/м³ с точностью ±0,5 г/м³. Продолжительность одного замера 1 мин.

Основные недостатки фотопылемера Ф-1 — низкая точность измерения и возможность применения только на высоких концентрациях. Кроме того, применение

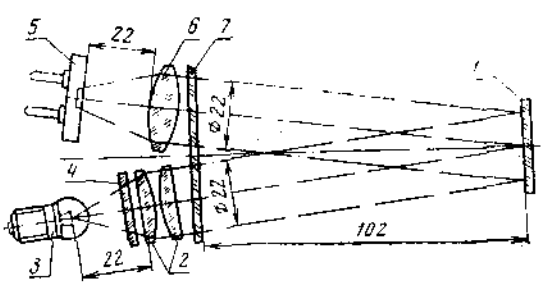


Рис. 39. Оптическая схема фотопылемера:
1 — зеркало; *2* — линза конденсатора; *3* — миниатюрная лампа; *4* — матовое стекло; *5* — фотосопротивление; *6* — собирательная линза; *7* — защитное стекло.

фотопылемера Ф-1 на пыли с низкой поглощающей способностью света, например на мучной, ограничено из-за недостаточной чувствительности прибора.

Фотопылемер Ф-2 предназначен для экспрессного контроля запыленности воздуха в деревообрабатывающих цехах.

Прибор состоит из верхнего корпуса с микроамперметром и коммуникационными регулировочными узлами, оптической части с фотодатчиком, пылевой камеры с зеркалом отражения, вентилятора с электродвигателем, нижнего корпуса с аккумуляторами СР-25.

Показания запыленности воздуха снимают со шкалы микроамперметра, отградуированной в мг/м³. Прибор включают тумблером, при этом включается усилитель постоянного тока УПТ и лампочка Л1.

Техническая характеристика фотопылемера Ф-2

Диапазоны измерения, мг/м³:	
0±10 . . . . . с точностью	±0,5
0±100 . . . . . с точностью	±1,0
Погрешность измерения, %	10...15
Продолжительность замера с прогревом, мин	3...5
Номинальное напряжение для схемы, Вт .	3,2
Продолжительность работы без перезарядки аккумуляторов, месяцы	6
Масса, кг	4,2
Ориентировочная стоимость, руб. . . .	150...180

Электростатический и акустический способы измерения запыленности. Электростатические пылемеры основаны на способности частиц пыли приобретать и сохранять на своей поверхности электрические заряды. Для контроля запыленности воздуха и подачи сигнала при увеличении пылесодержания воздушного потока выше заданного предела используют измерительный преобразователь электростатического сигнализатора запыленности (рис. 40, *а*).

Принцип действия устройства заключается в электризации измерительного преобразователя частицами пыли, перемещающимися в воздушном потоке.

Электрические заряды, полученные в результате трения частиц пыли о плоскости электростатического датчика, установленного неподвижно в воздухопроводе, воздействуют на электронно-релейную схему. Устройство состоит из трех основных частей: электростатического датчика плоскостного типа, электронно-усили-

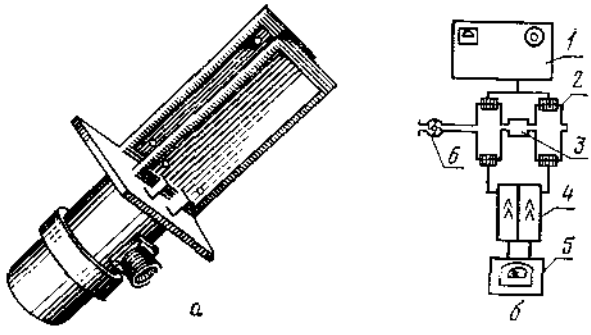


Рис. 40. Электростатический и акустический сигнализаторы запыленности воздуха:

а — электростатический сигнализатор (датчик); *б* — схема акустического пылемера; *1* — генератор; *2* — акустическая камера; *3* — фильтр; *4* — двухканальный усилитель; *5* — стрелочный индикатор; *6* — воздуходувная машина.

тельной схемы и пульта сигнализации с блоком питания.

Техническая характеристика устройства: диапазон срабатывания от 100 до 1000 мг/м³, точность срабатывания ±20%, скорость воздуха в воздухопроводе от 5 до 30 м/с, напряжение питания 220/127 В, допустимые колебания напряжения ±10%. Основной недостаток этого устройства — низкая точность.

Акустический пылемер АП-1 представляет собой лабораторный ультразвуковой прибор, предназначенный для определения запыленности воздуха. В этом приборе генератор *1* (рис. 40, *б*) возбуждает два пьезоэлектрических излучателя, установленных в измерительных акустических камерах *2*. С другой стороны камер расположены пьезоэлектрические приемники с двухканальными усилителями *4*, после которых принятый сигнал поступает на стрелочный индикатор *5*. Между камерами установлен фильтр *3*, через который продувается воздуходувной машиной *6* запыленный воздух. В первой камере будет всегда запыленный воздух, во второй — чистый.

При отсутствии пыли в обеих камерах акустические поля будут идентичны, на приемниках возникнут равные потенциалы, и индикатор покажет нуль. При наличии пыли акустическое поле первой камеры изменится, напряжение на приемниках не будет идентичным,

и индикатор покажет разность напряжений, которая соответствует определенной запыленности воздуха.

Имеется также фотоэлектрический прибор для автоматического непрерывного контроля концентрации пыли в газовом потоке при скорости до 10 м/с.

Прибор работает по методу сравнения двух световых потоков, проходящих через измерительный и сравнительный оптические каналы с равновесной (нулевой) схемой измерения и оптической компенсацией. Чувствительным элементом являются фоторезисторы.

Вторичный прибор — показывающий, имеет реостатное устройство с дистанционной передачей показаний.

Концентрацию пыли измеряют также при помощи портативного пылемера ИКП-1 с пределами измерения концентрации пыли от 0,1 до 500 мг/м^3. Погрешность измерения $\pm 10\%$.

Габаритные размеры измерительного преобразователя 300×120×320 мм, вторичного прибора 172×106×100 мм. Масса комплекта 10,5 кг.

Принцип действия пылемера ИКП-1 основан на электризации частиц пыли в поле коронного разряда и в последующем измерении их суммарного заряда.

§ 4. Вспомогательные приборы

Кроме основных контрольно-измерительных приборов, описанных выше, в вентиляционных установках применяют некоторые вспомогательные приборы. К ним относятся барометры и барографы для измерения барометрического атмосферного давления воздуха в рабочих помещениях, психрометры и гигрометры — для измерения относительной влажности воздуха, термометры — для измерения температуры, тахометры — для измерения частот вращений вентиляторов, аналитические весы и т. д.

Электрические термометры сопротивления. Для измерения и контроля температуры воздуха внутри воздухопроводов и другого оборудования отечественная промышленность выпускает различные типы электрических термомстров сопротивления на широкий диапазон пределов измерения от $-120°$ до $+500°$С.

Термометры сопротивления, установленные в воздухопроводе или в машине, соединяются проводами с измерительным устройством. В качестве измерительного

устройства могут быть применены показывающие логометры или, для более точных измерений, автоматические уравновешенные электронные мосты, которые служат не только для отсчета показаний, но и для записи измеряемых температур. Погрешность показаний не превышает ±0,5 %.

Регуляторы влажности воздуха. Для измерения и регулирования относительной влажности воздуха выпускают несколько типов регуляторов, в которых в качестве датчиков используют, как и в обычных гигрометрах, пучок обезжиренных волос, способных изменять свою длину при изменении влажности. Однако приборы, работа которых основана на этом принципе, имеют существенные недостатки: невозможность применения при вибрации в зданиях, ненадежность результатов замеров по точности.

Существуют также регуляторы влажности, работающие на психрометрическом методе, как и обычные психрометры, однако они обладают высокой инерционностью, большими габаритными размерами датчиков и трудностью обслуживания.

В настоящее время разработаны новые электрические датчики влажности. Так, датчики влажности ДВВ-1 и ЭВЧ работают на принципе изменения омического сопротивления специального покрытия тела датчика при изменении относительной влажности воздуха.

На рисунке 41 показано устройство электрического датчика влажности ДВВ-1. Каркас датчика отливают из оргстекла в форме цилиндра и полируют, затем на

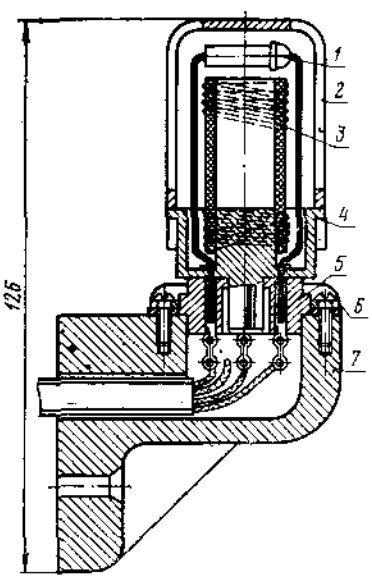


Рис. 41. Электрический датчик влажности:

1 — термистор для компенсации температурной погрешности; *2* — крышка датчика; *3* — чувствительный элемент; *4* — цоколь; *5* — ламповая панель; *6* — хомут; *7* — кронштейн.

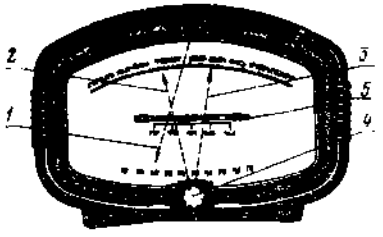


Рис. 42. Баротермогигрометр:
1 — стрелка влажности; *2* — стрелка давления; *3* — фиксирующая стрелка давления; *4* — кнопка регулятора фиксирующей стрелки давления; *5* — термометр.

его поверхности нарезают двухзаходную резьбу глубиной 0,5 мм с шагом 3 мм, которую покрывают влагочувствительной пленкой.

Влагочувствительную пленку готовят из водного раствора смеси поваренной и сегнетовой солей. В некоторых типах датчиков (ЭВЧ) на эту пленку наносят дополнительный тонкий слой пропантриола. Чувствительный элемент *3* крепится в цоколе *4* электронной лампы. Для компенсации влияния температуры на электропроводность под крышкой *2* датчика установлен термистор *1*. Датчики влажности используют с вторичными измерительными и регулирующими устройствами. Эти датчики позволяют измерять и регулировать влажность в пределах от 30 до 98% с дистанционностью передачи до 50 м.

В настоящее время выпускают дистанционные влагомеры воздуха ВВ-2 с датчиками влажности ДИВ и термовлагомеры ТВ-2 с датчиками влажности ДИВ-3. Пределы измерения температуры от 5 до 35°С с погрешностью ±1°С и относительной влажности от 20 до 90% с погрешностью ±5%.

Питание термовлагомера автономное от одного элемента. Работа термовлагомера при измерении влажности осуществляется по опросу, т. е. включение прибора в момент измерения. Габаритные размеры: ТВ-2 — 205×71×125,5 мм, измерительного преобразователя влажности 65×33×54 мм. Масса ТВ-2 1,8 кг, измерительного преобразователя 0,12 кг.

Баротермогигрометры. Основное преимущество баротермогигрометра (рис. 42) — его компактность, совмещение в одном малогабаритном приборе трех приборов: барометра, термометра и гигрометра. Стрелка *1* показывает на нижней шкале относительную влажность воздуха в пределах от 30 до 100% с точностью ±10%. Стрелка *2* показывает на верхней шкале давление атмосферного воздуха в пределах от 700 до 800 мм рт. ст.

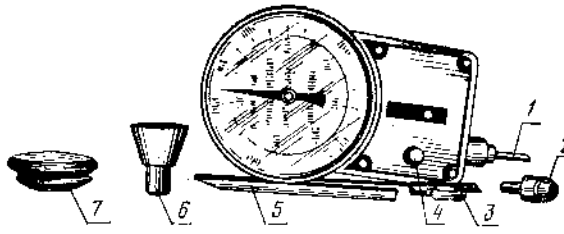


Рис. 43. Центробежный тахометр ИО-10:
1 — приводной вал; *2* и *3* — наконечники; *4* — кнопка установки диапазона; *5* — удлинитель; *6* и *7* — шкивы.

с точностью ±3 мм рт. ст. Фиксирующую вспомогательную стрелку давления *3* можно совмещать в начале замера посредством кнопки *4* с основной стрелкой на шкале изменения давления. В центре шкалы размещен жидкостный термометр *5*, позволяющий измерять температуру в пределах от 0° до +40°С с точностью ±1°С.

В узле барометра в качестве чувствительного элемента, воспринимающего изменения атмосферного давления, используют мембранную коробку. Перемещение верхнего центра мембранной коробки преобразуется в движение стрелки через передаточный механизм.

В узле гигрометра чувствительным элементом, реагирующим на изменение влажности воздуха, является капроновая нить «капрон 220». Перемещение оттянутой середины нити при ее укорочении или удлинении под действием влажности воздуха преобразуется механизмом в движение стрелки.

Основные недостатки баротермогигрометра БМ-1 — низкая точность и малая надежность полученных результатов измерения. Поэтому часто вместо баротермогигрометра используют три прибора: барометр или барограф М-22, термометр или термограф М-16, гигрометр или гигрограф М-32.

Тахометры. Для измерения частоты вращения вентиляторов обычно применяют центробежные тахометры ИО-10 (измерители оборотов до 10 000 об/мин). Общий вид тахометра ИО-10 приведен на рисунке 43. Тахометром можно измерять частоту вращения в пяти диапазонах от 25 до 10 000 об/мин с погрешностью ±2% от максимального предела в каждом диапазоне измерения.

Перед измерением вал *1* тахометра должен быть установлен на нужный диапазон частоты посредством нажатия кнопки *4* при одновременном поворачивании и осевом перемещении вала *1* до нужного предела. На рисунке 43 тахометр установлен на четвертом диапазоне частоты вращения (от 750 до 3000 об/мин), которая соответствует пределам частот вращения существующих вентиляторов.

Измерять частоту вращения выше установленного предела диапазона не разрешается, так как тахометр выходит из строя. При неизвестной частоте вращения, которую предстоит измерять, вал *1* тахометра необходимо установить вначале на самый верхний предел диапазона (2500...10 000 об/мин), а затем, если стрелка не отклоняется при измерении, установить меньший (четвертый) диапазон (750...3000 об/мин) и т. д. до самого низшего диапазона (25...100 об/мин).

При повышенных частотах (выше 750 об/мин) на вал тахометра надевают резиновый наконечник *2*, при низких частотах (меньше 750 об/мин) — металлический наконечник *3*. Во время измерения наконечник прижимают к центру вращающегося вала не больше чем на 4...5 с. За этот или меньший период времени следует заметить деление на шкале тахометра, где остановится стрелка. Подсоединять тахометр к вращающемуся валу больше чем на 4...5 с нельзя, так как это приводит к преждевременному износу прибора.

На первом, третьем и пятом диапазонах измерений отсчет ведут по внутренней шкале. На втором и четвертом диапазонах (75...300 и 750...3000 об/мин) отсчет ведут по внешней шкале тахометра.

Если доступ к центру вращающегося вала машины затруднен, то на вал тахометра надевают удлинитель *5*.

При отсутствии зацентрованного торца вала вместо наконечников *2* и *3* применяют шкивы *6* и *7*, которые прижимаются к вращающейся поверхности вала. Частоту вращения в этом случае подсчитывают по формуле

$$n = n_{\text{т}} \frac{d_{\text{т}}}{d_{\text{в}}}, \qquad (40)$$

где $n_{\text{т}}$ — частота вращения по шкале тахометра, об/мин; $d_{\text{т}}$ — диаметр шкива тахометра (32 мм); $d_{\text{в}}$ — диаметр вала, мм.

Если невозможно замерить частоту вращения вала

присоединением боковой поверхности шкива *7* к поверхности вала, на канавку шкива надевают шнурок, перекидывают его через измеряемый вал, завязывают и при натяжении проводят замер. В этом случае частоту вращения подсчитывают по зависимости (40) при $d_т = 25$ мм.

В процессе измерения нужно держать тахометр так, чтобы его вал был параллелен валу машины. При перекосах возникают дополнительные погрешности измерения.

Гарантированный срок работы тахометра 1300 включений на период не более 4...5 с каждое.

Разбирать тахометр запрещается.

В настоящее время при испытании вентилятора *14* (по схеме установки, рис. 2) на валу вентилятора установлен цифровой автоматический тахометр ЦАТ-2М. Этот тахометр имеет фотоэлектрический измерительный преобразователь, преобразующий импульсы светового потока в электрические импульсы, которые передаются на табло, показывающие частоту вращения *вала вентилятора*.

Глава IV

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ УСТАНОВКАМ

§ 1. Оформление лабораторных работ

Лабораторные работы оформляются в соответствии с ЕСКД. Отчет по каждой лабораторной работе оформляют на пронумерованных листах бумаги (формат 11, размер 297×210 мм). Титульный лист имеет форму, показанную ниже.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Краткие сведения по теории.
3. Схема установки и контрольно-измерительные приборы.
4. Содержание и последовательность выполнения работы.
5. Результаты измерений и расчетов.
6. Обработка и анализ результатов с выводами.

Форма титульного листа отчета по работам:

Московский ордена Трудового Красного Знамени технологический институт пищевой промышленности

Кафедра_____

ОТЧЕТ

По лабораторной работе №_____

По курсу «Вентиляционные установки»_____

Наименование работы_____

Работу выполнил студент группы_____
(фамилия, и., о.)

Работу принял преподаватель, _____
(фамилия, и., о.)

Подпись_____ дата_____ Подпись_____ дата_____

§ 2. Лабораторная работа № 1. Измерение давлений в воздухопроводах

Продолжительность 2 ч

Цель работы. Научиться измерять давления в воздухопроводах контрольно-измерительными приборами при исследовании и испытании вентиляционных установок.

Необходимые приборы и принадлежности. Барометр, *пневмометрическая трубка, микроманометр,* шланги, металлическая линейка, шнур.

Необходимые знания. Устройство и использование приборов для измерения давлений (гл. III, § 1). Виды давлений внутри вентиляционных воздухопроводов (гл. II, § 1). График распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах и выводы из графика (гл. II, § 2). Знать формулы (1), (4)...(9).

Порядок выполнения работы и ее оформление. Осматривают вентиляционную установку и находят измеряемое сечение по схеме, приведенной на рисунках 2 или 3. Замеряют металлической линейкой, рулеткой или шнуром (по длине окружности) диаметр воздухопровода в измеряемом сечении. Устанавливают микроманометр по уровню, регулируют уровень жидкости в трубке *микроманометра на нуль. Надевают резиновые* шланги на штуцеры микроманометра и пневмометрической трубки для замера общего, статического и динамического давлений. Проверяют герметичность соединений и микроманометра. Составляют форму таблицы 2 (или берут готовую) для записи результатов замеров и расчетов.

Открывают отверстие в воздухопроводе и вставляют пневмометрическую трубку для замера давлений. Перед замерами на пневмометрической трубке наносят риски. Первую риску точки центра воздухопровода наносят на пневмометрическую трубку на расстоянии $D/2$ от линии центра пневмометрической трубки общего давления. Вторую риску промежуточной точки наносят на расстоянии $D/4$ от первой риски, где D — диаметр *воздухопровода.*

Вместо рисок на пневмометрическую трубку могут быть надеты резиновые кольца.

Избыточные давления измеряют по схеме, приведенной на рисунке 24.

Повторяют три раза замеры давлений в указанных трех точках, записывают значения l по показаниям шкалы микроманометра, находят средние значения величин l (в мм). Рассчитывают избыточные давления $\pm H$ по формуле (22), в которую подставляют среднее значение l из трех измерений. Средние значения величин избыточных давлений $\pm H$ записывают в таблицу 2.

Таблица 2. **Результаты замеров и расчетов давлений в воздухопроводах**

(к лабораторной работе № 1)

№ опыта	Участок всасывающий или нагнетательный	Номер сечения воздухопровода по схеме	Диаметр воздухопровода по схеме, D, мм	Величина избыточных давлений																Избыточное статическое давление в стенке		Абсолютное давление в штуцере стенки	Атмосферное давление по барометру
				в центре воздухопровода $D/2$						в промежуточной точке $D/4$						у дальней стенки							
				статическое		динамическое		общее		статическое		динамическое		общее		статическое		динамическое		общее					
				l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	l, мм	$\pm H_{ст}$, Па	$p_{ст}$, Па	p_a Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1																									
2																									
3																									

Фактор наклона трубки микроманометра

Среднее значение

Работу выполнил студент группы———— Фамилия, и., о.——

Работу проверил и принял преподаватель———————— Подпись, дата————————

Динамическое давление $H_д$ замеряют по схеме, приведенной на рисунке 24, или определяют как разность между общим и статическим давлениями по формуле (9).

Избыточное статическое давление по отверстию в стенке (графа 24) замеряют без пневмометрической трубки соединением микроманометра со штуцером воздухопровода. Статическое давление по отверстию в стенке $\pm H_{ст}$ (графа 25) определяют из зависимости (6): по атмосферному давлению в помещении $P_а$ и избыточному статическому давлению в воздухопроводе $\pm H_{ст}$. Давление в помещении находят по барометру в Па или в мм рт. ст. и пересчитывают в Па согласно зависимости (1). Из формулы (6) следует, что $P_{ст} = P_а \pm H_{ст}$. Величину статического давления определяют по этой зависимости и заносят в графу 25.

Средние значения измеряемых величин определяют по формуле (12), среднюю квадратичную ошибку измерения — по формулам (13) и (14).

Перед средними значениями избыточных давлений $H_{ст}$ и $H_о$ в таблице 2 выставляют знаки «плюс» или «минус» — в зависимости от того, к какому штуцеру микроманометра подсоединялось измеряемое давление. Если резиновая трубка от воздухопровода подсоединялась к штуцеру «плюс» чашки микроманометра, то избыточное давление H на основании зависимости (4) имеет знак «плюс». При подсоединении измеряемого давления к штуцеру «минус» трубки микроманометра избыточное давление H будет иметь знак «минус».

Анализ результатов измерений и выводы. По результатам замеров и расчетов, согласно данным таблицы 2, нужно ответить письменно на следующие вопросы.

1. Как определить при замерах знаки величин $H_{ст}$ и $H_о$? Совпадают ли полученные при замерах знаки $H_{ст}$ и $H_о$ с теорией, т. е. с выводом из графика распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах (см. рис. 7)?

2. Какое из замеренных избыточных давлений $H_{ст}$ или $H_о$ получилось больше? Совпадает ли это с выводом из графика распределения давлений (см. рис. 7)?

3. В каких точках поперечного сечения воздухопровода получены при измерениях максимальные и минимальные значения избыточных давлений $H_о$ и $H_{ст}$? Совпадает ли это с теорией?

4. В какой точке поперечного сечения воздухопровода получилось при замерах максимальное динамическое давление? Совпадает ли это с теорией?

5. Какое из абсолютных давлений больше, в воздухопроводе P_o или $P_{ст}$?

При расхождении результатов измерения с теорией необходимо выяснить причины расхождения. Например, если по теории максимальное динамическое давление в центре воздухопровода, а по замерам получилось в промежуточной точке или у стенки воздухопровода, то причина расхождения с теорией состоит в искажении воздушного потока, например наличием фасонной части (отвода, аспирационного носка и т. п.) вблизи сечения, где производились измерения.

Если измеряемое сечение близко расположено от входного отверстия вентилятора (например, сечение *II—II* на схеме, приведенной на рисунке 2), то максимальное динамическое давление получается не в центре потока а в промежуточной точке в результате торможения ядра воздушного потока о торец вала и ступицы (втулки) вентилятора.

Наличие отвода вблизи измеряемого сечения *7—7* (см. рис. 2) смещает ядро воздушного потока центробежными силами от центра к стенке воздухопровода.

Аспирационный носок *2* (на схеме — см. рис. 2) вызывает смещение ядра воздушного потока в сечении *1—1* из центра к дальней стенке воздухопровода, противоположной от бокового входа воздуха в аспирационный носок.

Поэтому давления рекомендуется измерять без искажений потоков в сечениях, расположенных на расстоянии не менее $3D$ от фасонной части.

Вопросы для самоконтроля знаний на КИСИ к лабораторной работе **№ 1**

1. Какими приборами измеряют избыточные давления в вентиляционных воздухопроводах?
2. Какие типы микроманометров применяют для более точных измерений избыточных давлений в воздухопроводах?
3. Какое минимальное и максимальное избыточное давление позволяет измерять микроманометр ММН с длиной шкалы $l=300$ мм с коэффициентами $K=0{,}2$ и $K=0{,}8$?
4. Какие виды давлений измеряют пневмометрической трубкой и микроманометром?
5. От чего зависит точность измерения давлений чашечного микроманометра?
6. Почему повышается точность измерения давлений с уменьшением угла наклона трубки чашечного микроманометра с поворотной шкалой?

7. Какую жидкость применяют для измерения малых давлений в вентиляционных воздухопроводах?

8. К какому штуцеру микроманометра ММН подсоединяют резиновую трубку от общего давления пневмометрической трубки, установленной во всасывающем воздухопроводе?

9. На какой коэффициент K микроманометра устанавливают поворотную шкалу при измерении неизвестного давления?

10. В какой последовательности подготавливают к замерам микроманометр ММН?

§ 3. Лабораторная работа № 2. Измерение скоростей и расходов воздуха в воздухопроводах

Продолжительность 3 ч

Цель работы. *Научиться измерять скорости и расходы* воздуха в воздухопроводах при испытании и исследовании вентиляционных установок. Подтвердить справедливость уравнения неразрывности воздушного потока. Научиться определять среднюю скорость воздуха в воздухопроводах исследованием поля скоростей.

Необходимые приборы и инструменты. Пневмометрическая трубка, микроманометр, шланги, шнур, линейка, анемометр.

Необходимые знания. Способы и приборы для измерения скоростей воздуха (гл. III, § 2). Законы распределения скоростей по сечению воздухопровода. Зависимости плотности воздуха от давления, температуры и влажности (гл. II, § 1) и формула (2). Уравнение неразрывности воздушного потока — формула (46).

Порядок выполнения работы. Осматривают вентиляционную установку и находят заданные два сечения воздухопроводов по схеме, приведенной на рисунке 2 или 3.

Составляют формы таблиц 3 и 4 или берут их готовыми.

Замеряют диаметры воздухопроводов в двух последовательных сечениях и наносят их величины на схему и в таблицы 3 и 4. Определяют площади поперечных сечений воздухопроводов по формуле или из приложения 4, *или по номограмме (рис. 44). На третьей* вертикали номограммы справа даны диаметры воздухопровода (в мм), а слева против каждого диаметра *выставлены площади поперечного сечения (в* м^2).

По замеренным диаметрам воздухопроводов из приложения 2 находят расстояния шести точек замеров

Таблица 3. **Рабочая таблица результатов измерения давлений в воздухопроводах**

(к лабораторным работам № 2 и 4)

Номер точки замера	Расстояние C точки замера от стенки воздухопровода, мм	Избыточные давления								
		общее			статическое			динамическое		
		длина шкалы, l, мм	коэффициент K	$\pm H_{\text{о}}$, Па	длина шкалы, l, мм	коэффициент K	$\pm H_{\text{ст}}$, Па	длина шкалы, l, мм	коэффициент K	$H_{\text{д}}$, Па
	Сечение 1-е	Диаметр $D =$ _____ мм								
1										
2										
3										
4										
5										
6										
	Сечение 2-е	Диаметр $D =$ _____ мм								
1										
2										
3										
4										
5										
6										

Работу выполнил студент группы_____Фамилия, и., о._____Подпись_____ Дата_____

Работу проверил и принял преподаватель. Подпись_____

Таблица 4. **Сводная таблица замеров и расчетов скоростей и расходов воздуха**

(к лабораторной работе № 2)

Сечение	Номер сечения по схеме	Диаметр воздухопровода D, мм	Площадь сечения воздухопровода S, м²	Среднее динамическое давление $H_{д\,ср}$, Па	Средняя скорость $t_ж$, м/с	Расход воздуха Q		Расхождение расходов воздуха, %	Примечание
						м³/с	м³/ч		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1-е									
2-е									

Таблица 5. **Сводная таблица результатов замеров и расчетов потерь давления в воздухопроводах**

(к лабораторной работе № 3)

Сечение	Номер сечения по схеме	Диаметр воздухопровода D, мм	Среднее динамическое давление $H_{д\,ср}$, Па	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с	Длина прямых воздухопроводов l, м	Общие потери давления между сечениями $H_{пт}$, Па	Потери на местные сопротивления $H_{м.с}$, Па	Потери в прямых воздухопроводах $H_{пр}$, Па	Величина R, Па/м			Величина λ/D		
									по замерам	по номограмме	расхождение, %	по замерам	по номограмме	расхождение, %
-е														
1-е														
2														

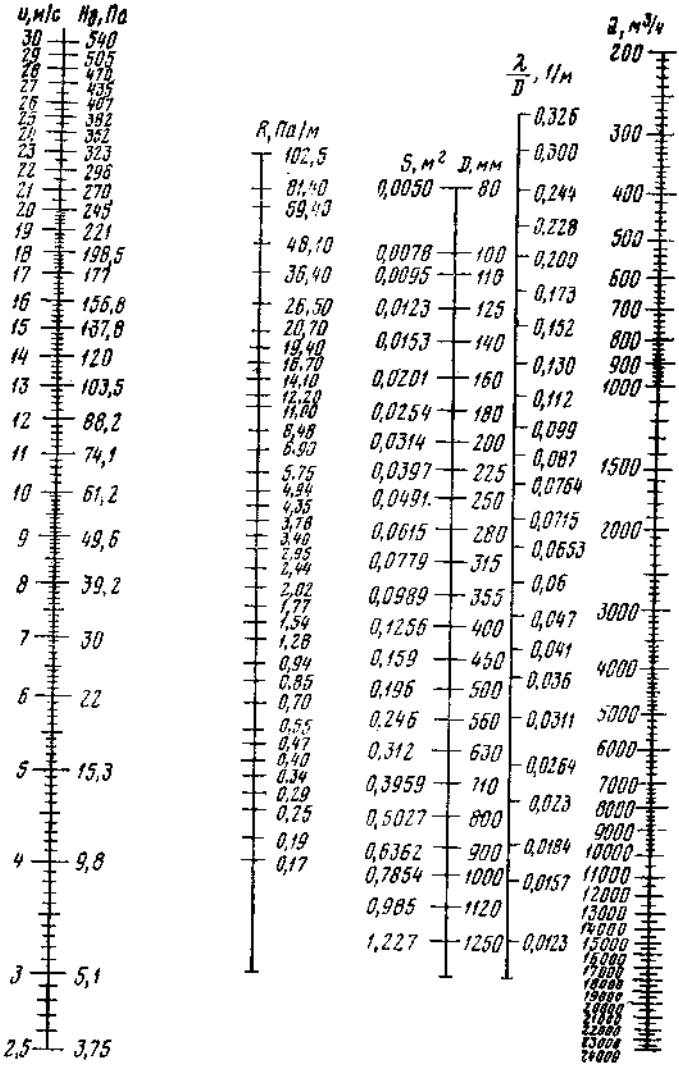


Рис. 44. Номограмма для расчета вентиляционных воздухопроводов.

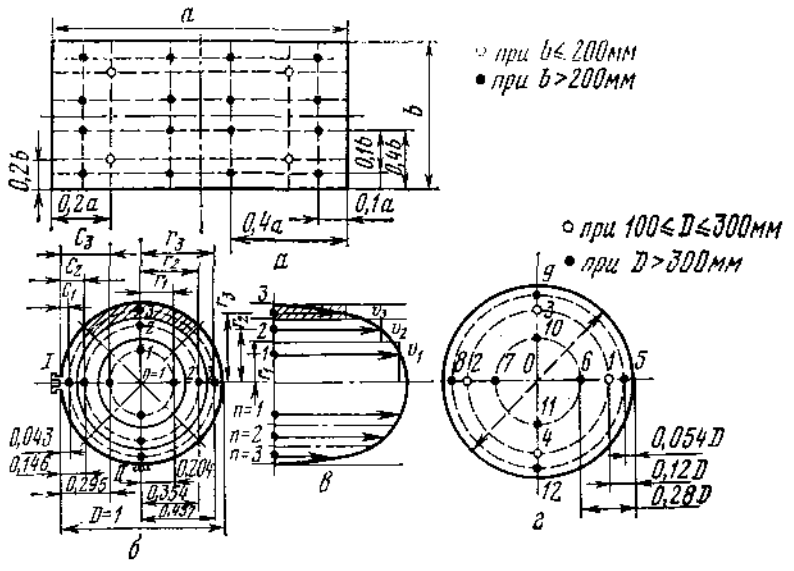


Рис. 45. Схемы размещения точек замеров в воздухопроводе:
а — прямоугольный воздухопровод по ГОСТ 12.3.018—79; *б* — круглый воздухопровод по общепринятой методике; *в* — поле скоростей; *г* — круглый воздухопровод по ГОСТ 12.3.018—79.

от стенки воздухопровода и записывают эти расстояния в таблицу. На пневмометрической трубке откладывают величину расстояния каждой точки, наносят риски или устанавливают резиновые кольца.

Точки замера давлений принимают в центре колец равновеликой площади, на которые разбивают сечение воздухопровода. Количество колец принимают не менее трех при диаметрах до 200 мм.

Схемы размещения точек измерения динамических давлений и скоростей внутри воздухопровода приведены на рисунке 45.

Расстояния (в мм) точек замера от центра круглого воздухопровода находят по следующей формуле:

$$r_n = R\sqrt{\frac{2n-1}{2m}}, \qquad (41)$$

где R — радиус воздухопровода, мм; n — номер точки замера от центра воздухопровода; m — число колец, на которые разбивают воздухопровод (по ГОСТ 17.2.4.01—80 при ∅ до 200 мм принимают три кольца, при ∅ 200...400 мм—четыре, при ∅ 400...600 мм—пять, при ∅ 600...800 мм — шесть колец).

Расстояния C точек замера от стенки воздухопровода (см. рис. 45), пересчитанные с учетом формулы (41), даны в приложении 2.

По ГОСТ 12.3.018—79 «Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний» число точек измерения принимают меньше. В круглых воздухопроводах при диаметре до 300 мм принимают четыре точки: по две точки по двум взаимно перпендикулярным направлениям (см. рис. 45, *г*). Расстояние этих точек от стенки воздухопровода принимают равным $C_1=0{,}12D$. При диаметре воздухопровода больше 300 мм принимают восемь точек: по четыре точки по каждому направлению. Размещение точек замера по этому стандарту в прямоугольных воздухопроводах показано на рисунке 45, *а*.

Замеряют общие и динамические давления в каждой точке, руководствуясь рисунком 24. Или замеряют общее и статическое давления, а динамическое находят по разности из формулы (9). Результаты измерений записывают в таблицу 3.

Среднюю скорость определяют по среднему динамическому давлению

$$v_{ср}=\sqrt{\frac{2H_{д\,ср}}{\rho}}=1{,}29\sqrt{H_{д\,ср}}, \qquad (42)$$

где $H_{д\,ср}$ — среднее динамическое давление, Па.

Величину среднего динамического давления находят по формуле

$$H_{д\,ср}=\left(\frac{\sqrt{H_{д_1}}+\sqrt{H_{д_2}}+\ldots+\sqrt{H_{д_n}}}{n}\right)^2, \qquad (43)$$

где $H_{д1}$, $H_{д2}$,..., $H_{дn}$ — динамические давления, замеренные в заданных точках поперечного сечения воздухопровода, Па; n — число точек замера (принимают при диаметре воздухопровода до 200 мм — шесть, при ∅ 200...400 мм — восемь, при ∅ 400...600 мм — 10, при ∅ 600...800 мм — 12 точек).

Для более точных замеров точки должны быть расположены по двум взаимно перпендикулярным плоскостям (см. рис. 45).

Среднюю скорость можно также определить по формуле

$$v_{ср}=\frac{v_1+v_2+\ldots+v_n}{n}, \qquad (44)$$

где v_1, v_2..., v_n — скорости воздуха в измеряемых точках (определяют по формуле (26), или по номограмме (см. рис. 44), или по приложениям 3, 4); n — число точек замера.

Расход воздуха (в м³/с) рассчитывают по формуле

$$Q = Sv_{ср}, \qquad (45)$$

где S — площадь поперечного сечения воздухопровода, м²; $v_{ср}$ — средняя скорость, м/с — находят по формуле (42) или (44).

В дальнейшем в расчетах обозначают средние скорости без индекса — вместо $v_{ср}$ обозначают v.

Расход воздуха можно определить по номограмме, приведенной на рисунке 44, соединяя линейкой среднюю скорость с диаметром.

Если измерения проводились при параметрах воздуха, отличающихся от нормальных, следует пересчитать скорость и расход на нормальное состояние по формулам (38) и (39).

Расхождение в расходах воздуха в двух последовательных сечениях рассчитывают по формуле (15) и записывают в графу 9 таблицы 4.

Анализ результатов измерений и выводы. После выполнения лабораторной работы № 2 необходимо ответить письменно на следующие вопросы.

1. Написать уравнение неразрывности воздушного потока для двух измеряемых сечений.
2. В каком из двух последовательных сечений должна быть по теории больше плотность воздуха?
3. Какое расхождение в расходах воздуха получилось при замерах в двух последовательных сечениях (в %) и чем оно объясняется?
4. Соблюдается ли уравнение неразрывности воздушного потока для данных сечений?

Записывают уравнение неразрывности воздушного потока, выражающее закон сохранения массы, для заданных двух сечений

$$\rho_1 v_1 S_1 = \rho_2 v_2 S_2 = m = \text{const}, \qquad (46)$$

где ρ_1 и ρ_2 — плотности воздуха в измеряемых сечениях, кг/м³, зависят от давлений и температуры воздуха по формуле (2);
v_1 и v_2 — средние скорости воздуха в измеряемых сечениях, м/с;
S_1 и S_2 — площади поперечных сечений воздухопроводов, м²; m — масса воздуха, кг/с.

На основании закона сохранения масс формулы (46) в идеальных условиях расходы в двух последовательных сечениях воздухопровода должны быть одинаковы.

Если по замерам получился расход воздуха во втором сечении больше, чем в первом при всасывающем воздухопроводе, то это можно объяснить двумя причинами: подсосами воздуха через неплотности во фланцевых соединениях и отверстиях для замеров, а также уменьшением плотности воздуха во втором сечении ρ_2 в результате уменьшения давления P_2 по сравнению с P_1, в соответствии с графиком (см. рис. 7) и формулой (2).

Уменьшение плотности ρ_2 вызывает увеличение скорости v_2 в соответствии с уравнением (46) при $S_1=S_2$. Это дает повышение расхода воздуха во втором сечении по формуле (45).

Вопросы для самоконтроля знаний на КИСИ к лабораторной работе № 2

1. Какими способами и приборами можно определить скорость воздуха?
2. В каких случаях применяют анемометры для измерения скорости воздуха?
3. Какие бывают анемометры?
4. Каким способом определяют среднюю скорость воздуха внутри воздухопровода?
5. Каковы законы распределения скоростей воздуха по поперечному сечению воздухопровода при ламинарном и турбулентном режимах потока?
6. Как замеряют скорость воздуха анемометром?
7. В каких случаях применяют способ определения скорости воздуха по показаниям кататермометра?
8. Каковы параметры стандартного воздуха?
9. По каким формулам рассчитывают среднюю скорость и расход воздуха в воздухопроводе?
10. По какой формуле находят среднее динамическое давление в воздухопроводе?

§ 4. Лабораторная работа № 3. Измерение потерь давления в воздухопроводах

Продолжительность 2 ч

Цель работы. Научиться измерять и определять сопротивления в воздухопроводах при испытании и исследовании вентиляционных установок.

Необходимые приборы. Пневмометрическая трубка, микроманометр, шланги, линейка, рулетка или метр.

Необходимые знания. Уравнение Д. Бернулли, формулы расчета потерь давления в прямых участках и фасонных частях воздухопроводов (формулы 47, 48, 49, 50)

Порядок выполнения работы. Замеряют длину l и диаметр D прямых участков воздухопровода между двумя измеряемыми сечениями. Замеряют параметры фасонных частей, расположенных между измеряемыми сечениями. Например, у отводов замеряют радиус и угол. Результаты этих замеров наносят на схему вентиляционной установки. Составляют формы таблиц 3 и 5. Подготавливают микроманометр и пневмометрическую трубку для измерения общих и динамических давлений не менее чем в шести точках в двух последовательных сечениях по методике лабораторной работы № 2. Для экономии времени на выполнение лабораторной работы № 3 можно использовать результаты измерения давлений таблицы 3, выполненные в лабораторной работе № 2. Для этого находят общие избыточные давления для заданных двух сечений как средние арифметические из шести измерений.

Записывают уравнение Д. Бернулли в общих избыточных давлениях для двух заданных сечений

$$\pm H_{o_1} = \pm H_{o_2} + H_{\text{пт}\,1-2}, \qquad (47)$$

где H_{o_1} и H_{o_2} — общие избыточные давления в первом и втором сечениях воздухопровода, Па; $H_{\text{пт}\,1-2}$ — потери давлений между измеряемыми сечениями, Па.

Из уравнения Д. Бернулли — формула (47) — находят потери давления между измеряемыми сечениями

$$H_{\text{пт}\,1-2} = \pm H_{o_1} - (\pm H_{o_2}). \qquad (48)$$

Величину общих избыточных давлений находят по замерам из таблицы 3 и формулы (12).

Если измеряемые сечения *1—1* и *2—2* находятся во всасывающем воздухопроводе, то общие избыточные давления H_{o_1} и H_{o_2} будут отрицательны и с учетом знаков выражение (48) принимает вид

$$H_{\text{пт}\,1-2} = -H_{o_1} + H_{o_2} > 0.$$

Общие потери давления, найденные по формуле (48), слагаются из потерь давления на прямых воздухопроводах $H_{\text{пр}}$ и на местные сопротивления $H_{\text{м.с}}$

$$H_{\text{пт}} = H_{\text{пр}} + H_{\text{м.с}}$$

или

$$H_{\text{пт}} = Rl + \Sigma\zeta H_{\text{д ср}}, \qquad (49)$$

где $H_{м.с}$ — потери давления на местные сопротивления подсчитываются по формуле

$$H_{м.с} = \Sigma\zeta H_{д\,ср}, \qquad (50)$$

где $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений между измеряемыми сечениями (находят по таблицам 11, 33, 36, 37); $H_{д\,ср}$ — среднее динамическое давление между сечениями *1—1* и *2—2* находят как среднее арифметическое между $H_{д\,ср_1}$ и $H_{д\,ср_2}$.

Средние динамические давления в сечениях *1—1* и *2—2* находят по формуле (43). $H_{пр}$ — потери давления прямых воздухопроводов (в Па) находят по следующим формулам:

$$H_{пр} = Rl \qquad (51)$$

или

$$H_{пр} = \frac{\lambda}{D} l H_{д\,ср},$$

где $R = \frac{\lambda}{D} \frac{\rho v^2}{2}$ — потери давления на 1 м длины воздухопровода; λ — коэффициент сопротивления круглых прямых воздухопроводов; l — общая длина прямых воздухопроводов (равна длине прямых участков и выпрямленной длине отвода l_o)

$$l_o = \frac{\pi R_o \alpha}{180}, \qquad (52)$$

где R_o — радиус отвода, м; α — угол отвода, град.

Величину потерь давления в прямых участках воздухопровода по замерам находят вычитанием из общих потерь давления потери на местные сопротивления, т. е.

$$H_{пр} = H_{пт\,1-2} - H_{м.с}.$$

Зная величину потерь давления в прямых воздухопроводах и длину участка, находят потери давления на 1 м длины воздухопровода, т. е. величину R по замерам

$$R = \frac{H_{пр}}{l}.$$

Зная R и среднее динамическое давление $H_{д\,ср}$, находят величину λ/D по замерам

$$\frac{\lambda}{D} = \frac{R}{H_{д\,ср}}.$$

Замеренные величины R и λ заносят в таблицу 5. В эту же таблицу записывают теоретические (таблич-

ные) значения R и λ, которые находят из номограммы (см. рис. 44), соединяя линейкой среднюю скорость с диаметром воздухопровода. Величину R можно также найти из приложения 4 по скорости и диаметру.

Анализ результатов замеров и выводы. Анализируя полученные результаты замеров и расчетов, необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Как определяют потери давления между двумя последовательными сечениями с применением уравнения Д. Бернулли?
2. По каким формулам рассчитывают потери давления на участке вентиляционной сети, имеющем прямые воздухопроводы и местные сопротивления?
3. Что такое R и λ и от чего они зависят?
4. Каковы отклонения (в %) замеренных величин R и λ от табличных значений? При отклонениях более 5% необходимо выяснить причины повышенных расхождений.

При ответе на первый вопрос нужно написать уравнение Д. Бернулли для измеряемых сечений. При ответе на второй вопрос — написать и объяснить расчетную формулу потерь давления на участке вентиляционной сети — формула (49). При ответе на четвертый вопрос, в случае, когда замеренные величины R и λ/D окажутся больше табличных значений, следует осмотреть состояние воздухопроводов между измеряемыми сечениями. Проверить, нет ли вмятин на поверхности воздухопроводов. Также возможны выступы прокладок во фланцевых соединениях внутри воздухопровода.

Если в лаборатории имеются воздухопроводы различного диаметра, например 100 и 200 мм одинаковой длины, то лабораторную работу № 3 можно выполнять по УИРС. В этом случае исследуют зависимость потерь давления от диаметра и длины воздухопровода. Для этого замеряют потери давления на двух участках воздухопроводов одинаковой длины при одинаковой скорости воздуха разного диаметра — 100 и 200 мм. Сравнивают полученные потери давления с теорией по формуле (51).

Вопросы для самоконтроля знаний на КИСИ к лабораторной работе № 3

1. Какой закон выражает уравнение Д. Бернулли и как написать его в общих избыточных давлениях?
2. Как определить по замерам потери давления между двумя последовательными сечениями воздухопровода?

3. По какой формуле рассчитывают потери давления в воздухопроводах на участке сети?
4. Как называют величину R в формуле потерь давления и по какой формуле ее можно рассчитать?
5. Как называют величину λ в формуле потерь давления и по каким формулам ее рассчитывают?
6. По какой формуле рассчитывают потери давления на местные сопротивления?
7. Как называются местные сопротивления на участке вентиляционной сети?
8. Для чего применяют конфузор и от чего зависит его коэффициент местного сопротивления?
9. От чего зависит коэффициент местного сопротивления отвода?
10. От чего зависят коэффициенты местных сопротивлений тройника?

§ 5. Лабораторная работа № 4. Испытание пылеотделителя (всасывающего фильтра или циклона), определение сопротивления пылеотделителя и подсосов воздуха в нем

Продолжительность 3 ч

Цель работы. Научиться измерять сопротивление фильтра или циклона и подсос воздуха в фильтре или циклоне при испытании и исследовании пылеотделителей вентиляционных установок. Найти зависимость сопротивления фильтра от нагрузки на ткань и сопротивления циклона от входной скорости.

Необходимые приборы и инструменты. Пневмометрическая трубка, микроманометр, линейка, рулетка или метр.

Необходимые знания. Вывод из уравнения Д. Бернулли о потерях давления. Формулы расчета потерь давления в воздухопроводах. Формулы сопротивления фильтра и циклона.

Порядок выполнения работы. Знакомятся со схемой вентиляционной установки и с испытываемым пылеотделителем. Составляют часть схемы с двумя сечениями в воздухопроводах для замеров давлений. Одно сечение перед входом воздуха в пылеотделитель, второе на выходе. Например, при испытании всасывающего фильтра (рис. 3) замеры проводят в сечениях *11—11* и *12—12*. При испытании батарейного циклона *16* измерения давлений проводят в сечениях *7—7* и *8—8*.

При испытании всасывающего фильтра *10* по схеме, приведенной на рисунке 2, где имеется два параллель-

ных воздухопровода на входе в фильтр, необходимо измерять давления и расход воздуха в трех сечениях: на входе в сечениях *5—5* и *22—22*, на выходе в сечении *6—6*. Расход воздуха на входе в фильтр суммируют, а общее давление в уравнении Д. Бернулли принимают среднее между H_{o5} и H_{o22} или только одно в сечении *5—5*.

При испытании фильтра замеряют диаметр и длину рукавов и определяют фильтрующую поверхность фильтра (в м²). При испытании циклона замеряют диаметры наружного и внутреннего цилиндра циклона, размеры входного отверстия. Определяют тип (марку) циклона. Записывают эти результаты в таблицу 6 или 7.

Замеряют диаметр и длину прямых участков воздухопроводов и выясняют характеристику фасонных частей от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий фильтра или циклона. Все эти размеры наносят на схему (рис. 2 или 3) или на составленную часть схемы сети. Составляют или принимают готовую рабочую таблицу 3 и таблицу 6 при испытании фильтра или таблицу 7 при испытании циклона.

Подготавливают приборы для измерения давлений. Пускают вентиляционную установку. Замеряют общее и динамическое давления в двух сечениях при входе воздуха во всасывающий фильтр или циклон и при выходе из фильтра или циклона. Результаты замеров записывают в таблицу 3. Находят расход воздуха Q, входящего в фильтр или циклон, по формуле (45). Определяют входную скорость в циклон или нагрузку на ткань (в м³/(ч·м²) по формуле

$$Q_{уд}=Q/S_{ф},$$

где $S_ф$ — фильтрующая площадь, м².

Входную скорость в циклон определяют по формуле

$$V_{вх}=Q/S_{вх},$$

где $S_{вх}=ab$ — площадь входного отверстия, м²; a и b — размеры входного отверстия в циклон по замерам.

Удельную нагрузку на ткань фильтра и входную скорость в циклон, полученные расчетом, сравнивают с оптимально допустимыми.

Удельную нагрузку на ткань фильтра с продувкой атмосферным воздухом допускают 90—120 м³/(ч·м²),

Таблица 6. **Сводная таблица результатов замеров и расчетов сопротивления и подсосов в фильтре**

(к лабораторной работе № 4)

Номер сечений по схеме	Диаметр воздухопровода D, мм	Среднее динамическое давление $H_{дср}$, Па	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с	Расход Q, м³/ч	Фильтр					Подсос воздуха в фильтре		Удельная нагрузка на ткань фильтра, $Q_{уд}$, м³/(ч·м²)	Сопротивление фильтра $H_ф$, Па		
					число секций	число рукавов	диаметр рукавов, мм	длина рукавов, мм	фильтрующая поверхность $S_ф$, м²	м³/ч	%		по замерам	из номограммы	расхождение, %

Таблица 7. **Сводная таблица результатов замеров и расчетов по определению сопротивления циклона**

(к лабораторной работе № 4)

Номер сечения по схеме	Диаметр воздухопровода D, мм	Площадь сечения воздухопровода S, м²	Среднее динамическое давление $H_{дср}$, Па	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с	Расход воздуха Q, м³/с	Размер входного отверстия, мм		Площадь входного отверстия $S_{вх}$, м²	Входная скорость $v_{вх}$, м/с	Сопротивление циклона $H_ц$, Па	Коэффициент сопротивления циклона $\zeta_ц$	Наружный диаметр циклона D, мм	Внутренний диаметр циклона d, мм	Скорость на выходе v, м/с
						a	b							

для фильтров с импульсной продувкой ткани сжатым воздухом — до 400 м³/(ч·м²).

Оптимальная входная скорость в цилиндрические циклоны 15...18, в конусные циклоны 12...14 м/с.

Записывают уравнение Д. Бернулли в общих давлениях и находят потери давления между измеряемыми сечениями. Например, для сечений *11—11* и *12—12* (рис. 3):

$$\pm H_{o_{11}} = \pm H_{o_{12}} + H_{\text{пт}\,11-12},$$

откуда

$$H_{\text{пт}\,11-12} = \pm H_{o_{11}} - (\pm H_{o_{12}}).$$

Подсчитывают потери давления в воздухопроводах $H'_{\text{пт}}$ от измеряемого сечения *11—11* до входа в фильтр и $H''_{\text{пт}}$ от выхода из фильтра до сечения *12—12* после фильтра по формуле (49). Из общих потерь давления между измеряемыми сечениями $H_{\text{пт}\,11-12}$ вычитают найденные расчетом потери давления в воздухопроводах $H'_{\text{пт}}$ и $H''_{\text{пт}}$ и определяют искомые потери давления в фильтре (или сопротивление фильтра)

$$H_{\text{ф}} = H_{\text{пт}\,11-12} - (H'_{\text{пт}} + H''_{\text{пт}}).$$

Таким же образом определяют сопротивление циклона $H_{\text{ц}}$. Подсос воздуха в фильтре или циклоне определяют по разности расходов на выходе и входе.

Полученный при замерах подсос сравнивают с допустимым по нормам. Подсос в фильтрах принимают до 10%, в циклонах 150 м³/ч на один шлюзовый затвор.

Если испытывают циклон на стенде под нагнетанием по схеме, приведенной на рисунке 5, тогда замеряют утечки воздуха из циклона по разности расходов на входе и выходе.

Для измерения сопротивления фильтра или циклона при другой удельной нагрузке на ткань или другой входной скорости изменяют расход воздуха регулированием задвижкой или изменением частоты вращения вентилятора.

Увеличить удельную нагрузку на ткань фильтра можно также уменьшением фильтрующей поверхности посредством отключения одной из секций фильтра.

Результаты замеров и расчетов записывают в таблицу 6 или 7.

Сопротивление фильтра $H_ф$ или циклона $H_ц$, полученные замерами, сравнивают с теоретическими. Для этого записывают формулу сопротивления фильтра

$$H_ф = A + BQ_{уд}, \quad (53)$$

где $Q_{уд}$ — удельная нагрузка на ткань, м³/(ч·м²); A и B — опытные коэффициенты, зависящие от вида пыли и фильтровальной ткани.

Значения коэффициентов A и B для различных видов пыли для фильтровального сукна № 2 даны в номограмме (рис. 46), разработанной ЦНИИпромзернопроект.

По удельной нагрузке на ткань $Q_{уд}$ находят табличное сопротивление фильтра из номограммы (рис. 46) или из графика (см. рис. 47). По номограмме можно определить сопротивление фильтра на любых видах пыли. График позволяет определять сопротивление фильтра только на зерновой элеваторной пыли.

Сопротивление фильтра по номограмме определяют следующим образом. Из точки значения $Q_{уд}$ проводят линейкой вертикальную линию и находят точку на линии сопротивления. Из этой точки проводят линейкой горизонтальную линию и на продолжении линейки слева на вертикальной шкале отыскивают искомое сопротивление фильтра $H_ф$.

Найденное табличное сопротивление фильтра сравнивают с замеренным, находят процент расхождения по формуле (15). Сопротивление циклона находят по формуле

$$H_ц = \zeta_ц \frac{\rho v^2_{вх}}{2}, \quad (54)$$

где $\zeta_ц$ — коэффициент сопротивления циклона, зависит от типа и конструкции циклона. Для цилиндрических циклонов не зависит, а для конусных зависит от наружного диаметра циклона.

Значение коэффициента сопротивления циклона по замерам находят из формулы (54):

$$\zeta_ц = \frac{H_ц}{\frac{\rho v^2_{вх}}{2}},$$

где $H_ц$ — сопротивление циклона по замерам в Па.

Найденное значение коэффициента сопротивления циклона $\zeta_ц$ по замерам сравнивают с табличными значениями существующих циклонов разных типов.

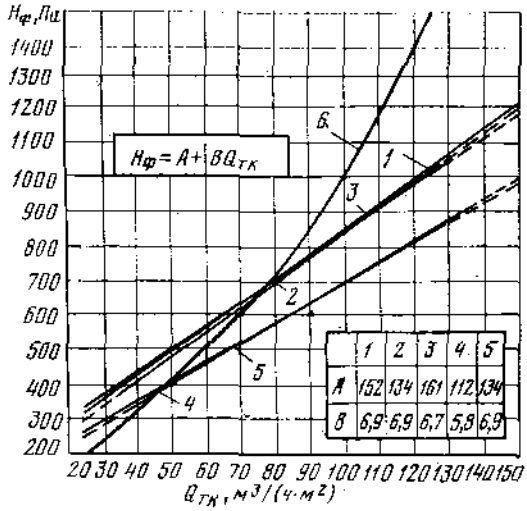


Рис. 46. Номограмма для определения сопротивления всасывающих фильтров:

1 — в элеваторе; *2*, *3* — в зерноочистительном отделении мукомольного и крупяного заводов; *4*, *5* — в размольном и шелушильном отделениях мукомольного и крупяного заводов; *6* — в пневмотранспортных установках для фильтров Г4-2БФМ.

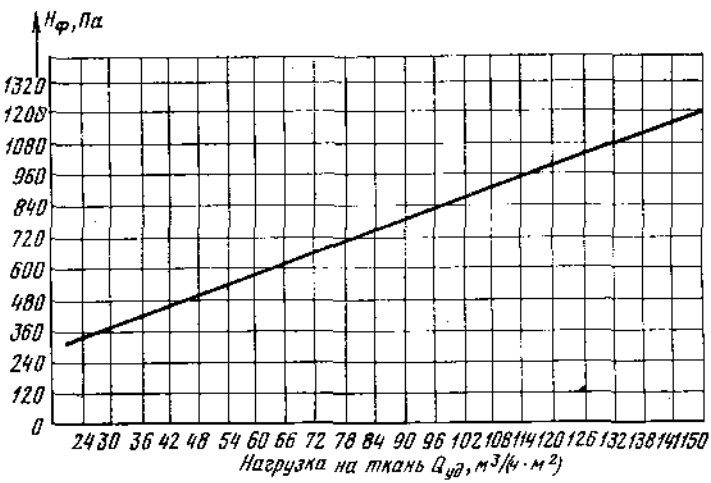


Рис. 47. График сопротивления фильтров на зерновой пыли по данным ЦНИИпромзернопроект.

Коэффициенты сопротивления существующих цилиндрических циклонов принимают для циклонов ЦОЛ $\zeta_д=4$, БЦШ ВНИИЗ НИИОГАЗ $\zeta_д=5$. Для конусных циклонов ОТИ $\zeta_д=12D$, для УЦ-38 $\zeta_д=20$, где D — наружный диаметр циклона (в м).

Анализ результатов испытаний пылеотделителя и выводы. В результате выполнения работы необходимо ответить на следующие вопросы.

1. От чего зависит сопротивление всасывающего фильтра?
2. Какова допустимая скорость фильтрации (или удельная нагрузка на ткань фильтра)?
3. Чем можно объяснить меньшее сопротивление фильтра в лабораторных условиях, определенное по замерам, по сравнению с фильтром, работающим в производственных условиях с такой же скоростью фильтрации?
4. Каков допустимый подсос воздуха во всасывающих фильтрах? Почему он выше подсоса в воздухопроводах?
5. Чем можно объяснить повышенный подсос воздуха в фильтре при замерах?

При ответах на вопросы необходимо проработать теоретическую часть курса о матерчатых фильтрах, проанализировать величины, входящие в формулу (53), уяснить механизм очистки ткани фильтра.

При испытании циклона необходимо ответить на следующие вопросы.

1. От чего зависит сопротивление циклонов?
2. Каково значение коэффициентов сопротивления различных типов циклонов?
3. У каких типов циклонов коэффициент сопротивления зависит от диаметра циклона?
4. Каковы оптимальные входные скорости воздуха в циклоны различных типов?

Вопросы для самоконтроля знаний на КИСИ к лабораторной работе № 4

По фильтрам

1. Какой коэффициент очистки воздуха от пыли дают фильтры?
2. Каким способом очищается фильтровальная ткань в фильтрах 1 БФМ?
3. Какая удельная нагрузка на ткань допускается в фильтрах 1 БФМ?
4. Каким способом очищается фильтровальная ткань в фильтрах БФЭ?
5. Какая удельная нагрузка допускается на ткань во всасывающих фильтрах БФЭ?
6. От чего зависит сопротивление фильтровальной ткани?
7. Каким устройством удаляется пыль из всасывающего фильтра?
8. Какая бывает концентрация пыли в очищенном воздухе после фильтра?

9. Какую концентрацию пыли можно допускать при входе воздуха в фильтр из условий взрывобезопасности?
10. Можно или нет подавать воздух, очищенный в фильтре, в рабочее помещение?

По циклонам

1. Какой коэффициент очистки воздуха от пыли дают циклоны?
2. Какой тип циклона дает наилучший коэффициент очистки воздуха от мучной пыли?
3. Как влияет диаметр циклона на эффективность очистки воздуха от пыли?
4. Как зависит коэффициент очистки воздуха в циклоне от входной скорости?
5. В каких типах циклонов оптимальная входная скорость больше, в каких меньше?
6. Какими устройствами удаляется из циклонов осажденная пыль?
7. Под действием какой силы очищается воздух от пыли в циклоне?
8. Куда удаляют воздух, очищенный в циклонах?
9. В чем преимущества циклона по сравнению с фильтром?
10. В чем недостаток циклона по сравнению с фильтром?

§ 6. Лабораторная работа № 5. Испытание вентилятора. Определение зависимости расхода воздуха, давления и потребной мощности вентилятора от частоты его вращения

Продолжительность 3 ч

Цель работы. Научиться измерять давление, развиваемое вентилятором, расход воздуха и мощность при исследовании и испытании вентиляторов. Проверить законы пропорциональности в работе вентилятора и его характеристику. Выяснить влияние частоты вращения вентилятора на работу вентиляционной установки.

Необходимые приборы. Пневмометрическая трубка, микроманометр, тахометр, ваттметр, амперметр (или мескофер).

Необходимые знания. Вывод из графика распределения давлений в воздухопроводах о величине развиваемого вентилятором давления — формула (10). Законы пропорциональности в работе вентилятора. Формула мощности для привода вентилятора. Формула теоретического и действительного давления, развиваемого вентилятором.

Порядок выполнения работы. Замеряют диаметры воздухопроводов в двух сечениях: на входе в вентиля-

Таблица 8. **Рабочая таблица результатов измерений в воздухопроводах при испытании вентилятора**

(к лабораторной работе № 5)

Номер точки замера	Расстояние точки замера от стенки, мм	Избыточные давления																	
		общее						статическое						динамическое					
		длина шкалы l, мм		коэффициент K		$\pm H_0$, Па		длина шкалы l, мм		коэффициент K		$\pm H_{ст}$, Па		длина шкалы l, мм		коэффициент K		$H_д$, Па	
		n_1, об/мин	n_2, об/мин	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			

Сечение 1-е до вентилятора Диаметр D = _____ мм

Сечение 2-е после вентилятора Диаметр D = _____ мм

Работу выполнил студент группы _____ Фамилия, и., о. _____ Подпись _____ Дата _____

Работу проверил, принял преподаватель _____ Подпись _____

тор и на выходе из него. Например, в сечениях *11—11* и *12—12* (см. рис. 2). Замеряют длину прямых воздухопроводов и выявляют характеристику фасонных частей от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий вентилятора. Результаты замеров наносят на схему сети (см. рис. 2). Составляют форму таблицы 8 и 9 или берут их готовыми. Пускают в ход вентиляционную установку, замеряют тахометром частоту вращения вентилятора $n_{в_1}$, замеряют общее и динамическое давление в воздухопроводах на входе и выходе. Можно замерять общее и статическое давления, а динамическое находить по разности. Результаты записывают в таблицу 8. Количество точек замера принимают в зависимости от диаметра воздухопроводов, согласно методике лабораторной работы № 2. Определяют расход воздуха $Q_{в_1}$, давление $H_{в_1}$, развиваемое вентилятором, и мощность $N_{в_1}$.

Изменяют вариатором частоту вращения вентилятора $n_{в_2}$. Повторяют все замеры при измененной частоте вращения и определяют давление $H_{в_2}$, расход $Q_{в_2}$ и мощность $N_{в_2}$.

Расход воздуха, перемещаемого вентилятором, принимают по расходу воздуха при входе в вентилятор в сечении *11—11* $Q_в = Q_{11}$ или берут среднее между расходами на входе и выходе

$$Q_в = \frac{Q_{11} + Q_{12}}{2}.$$

Расход воздуха определяют по той же методике, что и в предыдущих работах. Давление вентилятора $H_в$ находят по сумме общих избыточных давлений на входе в вентилятор $H_{о_{вх}}$ и на выходе из него $H_{о_{вых}}$ без учета знаков, согласно зависимости (10), т. е.

$$H_в = H_{о_{вх}} + H_{о_{вых}}$$

Если в уравнении (10) подставить вместо общих избыточных давлений во входном и выходном отверстиях вентилятора общие давления в сечениях *11—11* и *12—12* (см. рис. 2), то полученное значение давления вентилятора будет заниженным. Для более точного определения давления, развиваемого вентилятором, необходимо рассчитать потери давления на участках от измеряемых сечений *11—11* и *12—12* до входного и

выходного отверстий вентилятора и прибавить эти потери к давлению вентилятора

$$H_в = H_{о_{11}} + H_{о_{12}} + H'_{пт} + H''_{пт}, \qquad (55)$$

где $H_{о_{11}}$ — избыточное общее давление до вентилятора в сечении *11—11* по замерам без учета отрицательного знака; $H_{о_{12}}$ — избыточное общее давление после вентилятора в сечении *12—12*; $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$ — потери давления в воздухопроводах от измеряемых сечений до входного и выходного отверстий вентилятора.

Давление, развиваемое вентилятором, можно также определить непосредственно измерением микроманометром с применением двух пневматических трубок. Для этого полное давление от пневматической трубки, установленной во всасывающем воздухопроводе при входе в вентилятор (см. рис. 24), подсоединяют к штуцеру трубки микроманометра, а полное давление от пневматической трубки, установленной в нагнетательном воздухопроводе на выходе из вентилятора,— к штуцеру чашки микроманометра. К замеренному таким образом давлению вентилятора следует добавить потери $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$.

Мощность на валу вентилятора (в кВт) может быть рассчитана по формуле

$$N_в = \frac{Q_в H_в}{1000 \zeta_в}, \qquad (56)$$

где $Q_в$ — расход воздуха, перемещаемого вентилятором, м³/с; $H_в$ — давление вентилятора, Па; $\zeta_в$ — КПД вентилятора (находят из характеристик).

При испытании вентилятора в установке (см. рис. 2 или 3) КПД принимают по рисунку 48. КПД вентилятора, установленного на стенде (см. рис. 5), принимают по рисунку 49. Характеристика вентилятора ВЦП-3 последнего выпуска показана на рисунке 50. Характеристики остальных вентиляторов даны в приложении 8.

Мощность электродвигателя для привода вентилятора определяют по формуле

$$N_э = \frac{K N_в}{\zeta_1 \zeta_2}, \qquad (57)$$

где K — коэффициент запаса, принимают от 1,1 при $N_в \geqslant 5$ кВт до 1,5 при $N_в \leqslant 0{,}5$ кВт; ζ_1 — КПД подшипников вентилятора ($\zeta_1 = 0{,}97$); ζ_2 — КПД передачи (для клиноременной передачи $\zeta_2 = 0{,}98...0{,}96$; для плоскоременной $\zeta_2 = 0{,}85...0{,}9$).

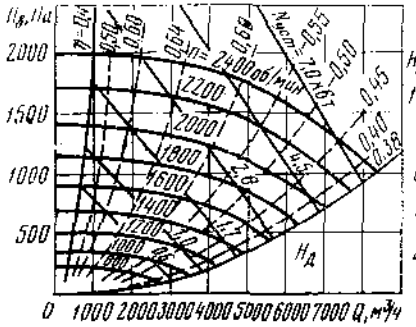


Рис. 48. Характеристика вентилятора ЦАГИ № 3 (ГОСТ 659—41).

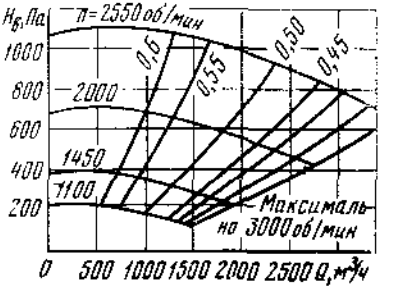


Рис. 49. Характеристика вентилятора ЦАГИ № 3 (ГОСТ 5976—55).

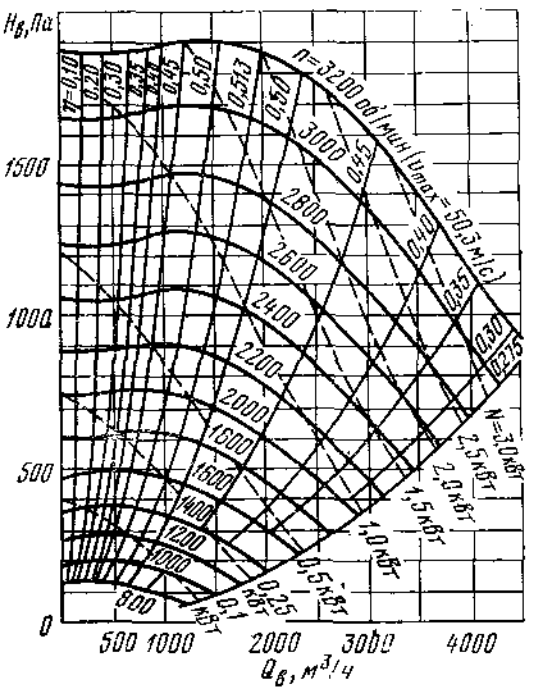


Рис. 50. Характеристика вентилятора ВЦП-3 (Ц6-46 № 3) (ГОСТ 10616—63).

Полученные отношения частот вращения, расходов давлений и мощностей при двух различных частотах вращения необходимо сравнить с теоретическими зависимостями из законов пропорциональности. Для этого нужно сравнить отношение частот вращения (см. табл. 9, гр. 8) с отношением расходов (гр. 9), найти расхождения первого закона пропорциональности.

$$\frac{Q_{в_1}}{Q_{в_2}} = \frac{n_1}{n_2}. \qquad (58)$$

Далее возвести в квадрат отношение частот вращения и сравнить полученную величину с отношением давлений (гр. 10), проверив второй закон пропорциональности

$$\frac{H_{в_1}}{H_{в_2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2. \qquad (59)$$

После этого возвести в куб отношение частот вращения и сравнить с отношением мощностей (гр. 11), определив расхождения третьего закона пропорциональности

$$\frac{N_{в_1}}{N_{в_2}} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3. \qquad (60)$$

Действительное давление (в Па), развиваемое вентилятором, выражается формулой

$$H_в = \rho\varphi\zeta_в u^2, \qquad (61)$$

где $\rho = 1{,}2$ кг/м^3 — плотность стандартного воздуха; u — окружная скорость рабочего колеса вентилятора, м/с; $u = \frac{\pi D_к n}{60}$ ($D_к$ — диаметр рабочего колеса вентилятора в м); n — частота вращения вентилятора, об/мин; $\zeta_в$ — КПД вентилятора принимается из характеристик, как и при расчете мощности, по формуле (56); φ — коэффициент закручивания зависит от формы лопаток рабочего колеса вентилятора. У рабочих колес, лопатки которых загнуты вперед, $\varphi = 1{,}1...1{,}35$. При радиальных лопатках $\varphi = 1{,}0$. У вентиляторов низкого давления лопатки иногда загнуты назад и $\varphi = 0{,}5...0{,}8$.

Коэффициентом закручивания φ называют отношение проекции абсолютной скорости c на направление окружной скорости к окружной скорости u, т. е. $\varphi = \frac{c\cos\alpha}{u}$, где α — угол между абсолютной скоростью c и окружной u.

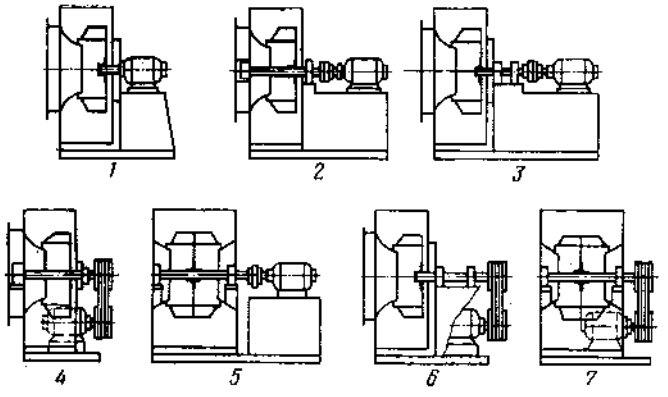


Рис. 51. Исполнения вентиляторов по виду привода (ГОСТ 5976—73).

Величина $H=\zeta_в$ — называется коэффициентом полного давления вентилятора.

Анализ результатов испытания вентилятора и выводы. В результате выполнения работы № 5 необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Как определяется давление, развиваемое вентилятором, замерами и по формулам?
2. Как определить мощность на валу вентилятора?
3. Как определить номер вентилятора?
4. Какое исполнение имеют вентиляторы в установках, показанных на рисунках 2, 3 и 5, согласно ГОСТ 5976—73 (рис. 51)?
5. Какой ход имеют вентиляторы в установках, показанных на рисунках 2, 3 и 5?
6. Соблюдаются ли законы пропорциональности в работе данного вентилятора по результатам замеров и чем можно объяснить отклонение от законов пропорциональности?

При ответе на первый вопрос руководствуются выводом из графика (см. рис. 7) и формулами (10), (55) и (61).

Номер вентилятора определяют по диаметру рабочего колеса. Исполнение по типу привода определяют по рисунку 51. Ход вентилятора определяют по направлению вращения рабочего колеса. Построение характеристики вентилятора, т. е. определение зависимости давления вентилятора $H_в$ от расхода воздуха $Q_в$ на стенде (см. рис. 5), производят следующим образом. Пускают вентилятор, замеряют частоту враще-

ния n=const. Устанавливают задвижку *3* в определенном положении и замеряют скорость и расход воздуха в сечении *1—1* по среднему динамическому давлению или по входному коллектору с учетом формул (42), (45) и (29). Замеряют статическое давление в сечениях *1—1* и *2—2* до и после вентилятора $H_{ст_1}$ и $H_{ст_2}$.

Определяют давление вентилятора с учетом формул (10) и (55):

$$H_{в_1}=H_{ст_1}+\frac{\rho v_1^2}{2}+H'_{пт}+H_{ст_2}+\frac{\rho v_2^2}{2}+H''_{пт},$$

где $H'_{пт}$ и $H''_{пт}$ — потери давления от сечения *1—1* до входного отверстия вентилятора и от выходного отверстия до сечения *2—2*; подсчитываются по формуле (49).

В формулу (49) вместо $\Sigma\xi$ подставляют коэффициенты местного сопротивления конфузора и коробки ЦАГИ на входе и диффузора на выходе из вентилятора.

Коэффициент сопротивления конфузора находят по таблице 11, диффузора — по таблице 37.

Коэффициент сопротивления коробки ЦАГИ принимают равным 0,27.

По расходу воздуха $Q_{в_1}$ и давлению $H_{в_1}$ находят на графике (рис. 52) точку *1*. Изменив режим работы вентилятора задвижкой, повторяют замеры и рассчитывают расход $Q_{в_2}$ и давление вентилятора $H_{в_2}$ при втором режиме. На графике находят точку *2*.

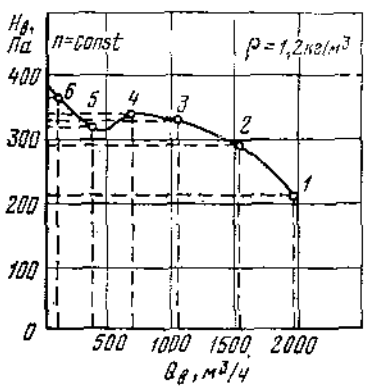


Рис. 52. Построение характеристики вентилятора при его испытании.

Аналогично находят и остальные точки графика. Соединяя эти точки плавной кривой, получают характеристику вентилятора $H_в=f(Q_в)$ при n_1=const.

Изменив частоту вращения вентилятора вариатором, можно таким же образом построить вторую кривую характеристики вентилятора при n_2=const.

Тип вентилятора и

Таблица 9. Сводная таблица результатов замеров и расчетов по испытанию вентилятора

(к лабораторной работе № 5)

Номер замера	Частота вращения вентилятора n, об/мин	Среднее динамическое давление $H_{дср}$, Па	Средняя скорость на входе v, м/с	Расход воздуха на входе Q, м³/ч	Давление вентилятора $H_в$, Па	Мощность на валу вентилятора $N_в$, кВт	Отношение большего к меньшему $n_1 > n_2$				Тип и марка вентилятора	Номер вентилятора	Исполнение по ГОСТ 5976–73
							частота вращения n_1/n_2	расходов $Q_{в1}/Q_{в2}$	давлений $H_{в1}/H_{в2}$	мощностей $N_{в1}/N_{в2}$			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14

Таблица 10. Результаты замеров и расчетов потерь давления в аспирируемом оборудовании

(к лабораторной работе № 6)

Наименование машины	Номер сечения по схеме	Диаметр воздуховода D, мм	Среднее динамическое давление $H_{дср}$ Па	Средняя скорость $v_{ср}$, м/с	Длина прямого воздуховода l_i, м	Общие потери давления $H_{пт}$, Па	Коэффициент сопротивления конфузора κ	Величины		Потери давления в машине $H_м$, Па		Расход воздуха в машине $Q_м$, м³/ч	
								R, Па/м	ξ, Па	по замерам	по нормам	по замерам	по нормам
Трier дисковый													

его марку в графе 12 таблицы 9 объясняют следующим образом. Например, вентилятор ЦП7-40 означает центробежный, пылевой с коэффициентом давления $\bar{H}=0{,}7$ и критерием быстроходности $n_{уд}=40$ об/мин.

Вопросы для самоконтроля знаний на КИСИ к лабораторной работе № 5

1. Чему равно давление, развиваемое вентилятором в сети?
2. Как замеряют давление вентилятора в сети?
3. По какой формуле рассчитывают действительное давление вентилятора?
4. По какой формуле рассчитывают мощность на валу вентилятора?
5. По какой формуле рассчитывают мощность электродвигателя для привода вентилятора?
6. Как определяют номер вентилятора?
7. Как определяют ход вентилятора?
8. Как изменяется расход воздуха вентилятора при изменении частоты его вращения?
9. Как изменяется давление вентилятора при изменении частоты его вращения?
10. Как изменится мощность на валу вентилятора при изменении частоты его вращения?

§ 7. Лабораторная работа № 6. Измерение потерь давления в аспирируемом оборудовании

Продолжительность 3 ч

Цель работы. Научиться измерять и определять потери давления в аспирируемом оборудовании при испытании и исследовании вентиляционных установок.

Необходимые приборы. Пневмометрическая трубка, микроманометр, линейка и рулетка.

Необходимые знания. Уравнение Д. Бернулли. Формулы потерь давления в воздухопроводах и в аспирируемом оборудовании.

Порядок выполнения работы. Составляют часть схемы сети с машиной (рис. 53). Замеряют диаметр D воздухопровода после конфузора машины, например, в сечении *3—3*. Замеряют длину прямого участка от конфузора до измеряемого сечения *3—3*, которое должно располагаться на расстоянии $l_1 \geqslant 3D$. Замеряют размеры конфузора, определяют угол сужения конфузора по формуле

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{a-D}{2h_к}, \qquad (62)$$

где a — наибольшая сторона прямоугольника конфузора; $h_к$ — высота (длина) конфузора.

Находят отношение $h_к/D$ и по этому отношению и углу определяют коэффициент местного сопротивления конфузора по таблице 11.

Составляют формы таблиц 3 и 10 или берут их готовыми. Пускают вентиляционную установку и измеряют статическое, общее и динамическое давления по методике лабораторной работы № 2 в сечении *3—3* (рис. 53). Точки измерения принимают по схеме *рисунка* 45 и *приложению* 2. Результаты замеров и расчетов заносят в таблицы 3 и 10.

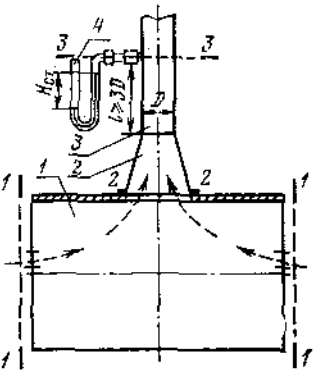


Рис. 53. Схема измерения потерь давления в аспирируемом оборудовании:
1 — аспирируемая машина; *2* — конфузор; *3* — прямой воздуховод; *4* — микроманометр.

Записывают уравнение Д. Бернулли для сечений *1—1* и *3—3* в следующем виде:

$$\pm H_{ст_1} + H_{д_1} = \pm H_{ст_3} + H_{д_3} + H_{пт\,1-3} = 0. \qquad (63)$$

Сечение *1—1* принимают в помещении, поэтому разность статических давлений в этом сечении будет равна нулю. Динамическое давление в сечении *1—1* будет равно нулю согласно *зависимости* (7). Ввиду бесконечно большой площади этого сечения скорость воздуха принимается равной нулю.

Таблица 11. **Величина коэффициента местных сопротивлений конфузоров $\zeta_к$ аспирируемых машин**

$h_к/D$ \ α	0°	10°	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
0,10	0,50	0,40	0,25	0,20	0,18	0,24	0,32	0,41	0,50
0,25	0,50	0,34	0,17	0,13	0,14	0,21	0,30	0,39	0,50
0,60	*0,50*	*0,28*	*0,13*	*0,10*	*0,12*	*0,20*	*0,29*	*0,38*	*0,50*
1,00	0,50	0,27	0,11	0,09	0,11	0,19	0,28	0,38	0,50

Потери давления от первого до третьего сечения $H_{пт1-3}$ состоят из потерь давления в машине $H_м$, в конфузоре и на прямом участке воздуховода. Поэтому уравнение (63) принимает следующий вид:

$$\pm H_{ст_3} + H_{д_3} + H_м + \zeta_к H_{д_3} + Rl = 0.$$

Искомые потери давления в аспирируемой машине $H_м$ находят по следующей зависимости:

$$H_м = H_{ст_з} - (1 + \varsigma_к) H_{д_з} - Rl. \quad (64)$$

В выражении (64) учтен отрицательный знак у $H_{ст_з}$.

Динамическое давление $H_{д_з}$ определяют замерами по формуле (43). Величину R находят из приложения 4 или по номограмме (см. рис. 44) по средней скорости и диаметру воздухопровода.

Длина прямого участка l в формуле (64) должна включать длину конфузора, так как коэффициент местного сопротивления конфузора, взятый из таблицы 11, не учитывает потери давления на длине конфузора.

Определив потери давления в машине подсчитав расход воздуха в машине $Q_м$ по зависимости (45), записывают формулу сопротивления машины

$$H_м = \varepsilon_м Q^2_м. \quad (65)$$

Находят аэродинамический коэффициент сопротивления машины (в Па·с^2/м^6):

$$\varepsilon_м = \frac{H_м}{Q^2_м}. \quad (66)$$

где $Q^2_м$ — расход воздуха в машине по замерам, м^3/с; $H_м$ — потери давления в машине по замерам, Па.

Величины расхода воздуха, потерь давления в машине и коэффициента сопротивления машины, полученные при испытании, сравнивают с нормами, которые даны в приложении 5.

Рассчитывают процент расхождения в расходах, потерях давления и в коэффициенте сопротивления машины по результатам испытаний и нормам. Если расхождение составляет больше 5%, выясняют причины повышенных расхождений и дают объяснения. Повышенные расхождения могут объясняться плохой герметичностью корпуса аспирируемой машины, а также конструктивными особенностями испытываемой машины.

После выполнения данной работы необходимо ответить на следующие вопросы.

1. От чего зависят потери давления в аспирируемой машине?
2. По каким формулам рассчитывают потери давления в воздухопроводах и в машинах?
3. Какова зависимость потерь давления в аспирируемой машине от расхода воздуха?
4. Что такое $\varepsilon_м$ и от чего он зависит?

§ 8. Лабораторная работа № 7. Определение запыленности воздуха в помещении

Продолжительность 4 ч

Цель работы. Научиться определять концентрацию пыли в воздухе рабочих помещений при испытании и исследовании вентиляционных установок.

Необходимые приборы. Ротационная воздуходувная машина с ротаметрами (см. рис. 31), патроны с фильтрами (см. рис. 32), шланги, штатив, секундомер, зажим Гофмана, аналитические весы.

Необходимые знания. Устройство и принцип действия контрольно-измерительных приборов для определения запыленности воздуха. Методика определения запыленности воздуха весовым способом (гл. III, § 3).

Порядок выполнения работы. Подготавливают приборы (воздуходувную машину, ротаметры, патроны, фильтры) и проверяют их исправность. Составляют форму таблицы 12. Взвешивают чистые фильтры на аналитических весах. Допустимая погрешность при взвешивании фильтров не должна превышать 0,002 г между повторными взвешиваниями. Точность взвешивания фильтров — до 0,1—0,05 мг.

Устанавливают патроны с фильтрами на штативы в местах определения запыленности воздуха на расстоянии 1,5 м от пола, собирают установку, как показано на рисунке 31.

Проводят опробование работы установки, проверяют герметичность соединения резиновых шлангов, особенно между патронами и расходомером. При использовании фильтров расход устанавливают с учетом возможной степени запыленности воздуха, согласно таблице 14.

Расход воздуха ротационной установки регулируют поворотом регулятора *3* (см. рис. 31).

Расход воздуха при работе с воздуходувной машиной и реометром регулируют диафрагмами или зажимом Гофмана.

Таблица 12. **Результаты замера запыленности воздуха в помещении**

(к лабораторной работе № 7)

Дата	Номер опыта	Номер фильтра	Место отбора проб	Продолжительность отбора проб, t, мин	Расход воздуха по реометру q, л/мин	Масса чистого фильтра A_1, мг	Масса фильтра с пылью A_2, мг	Массы пыли $A_2 - A_1$, мг	Объем пропущенного воздуха qt, л	Концентрация пыли в воздухе a, мг/м³	Примечание

Таблица 13. **Результаты измерений и расчетов запыленности воздуха в воздухопроводах и определения коэффициента очистки пылеотделителя**

(к лабораторной работе № 8)

Номер опыта	Номер сечения воздуховода по схеме	Дата и время опыта	Номер точки замера	Расстояние точки замера от стенки c, мм	Динамическое давление $H_д$, Па	Скорость воздуха v, м/с	Номер фильтра (аллонжа)	Продолжительность отбора пробы t, мин	Диаметр насадки d, мм	Расход воздуха по реометру q, л/мин	Объем просасываемого воздуха qt, л	Масса питателя до опыта m_1, г	Масса питателя после опыта m_2, г	Масса чистого фильтра A_1, мг	Масса фильтра с пылью A_2, мг	Масса пыли $A_2 - A_1$, мг	Концентрация, мг/м³		Время работы питателя t, с	Коэффициент очистки пылеотделителя η, %
																	до пылеуловителя	после пылеуловителя		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1																				
2																				

Таблица 14. **Продолжительность отбора проб и расход воздуха в зависимости от концентрации пыли**

(к лабораторной работе № 7)

Предполагаемая запыленность воздуха, мг/м³	Расход воздуха л/мин	Продолжительность отбора пробы, мин
0,3—1,0	100	30
1,0—10	30	10
10—100	10	5
Свыше 100	5	2...3

Включают установку и просасывают запыленный воздух через фильтры. Продолжительность отбора проб берут из таблицы 14 или подсчитывают по формуле (35). По окончании отбора пылевой пробы установку выключают, фильтры взвешивают на тех же аналитических весах. Все результаты записывают в таблицу 12. Рекомендуется трехкратная повторность отбора проб в заданной точке рабочего помещения.

Запыленность воздуха рассчитывают по формуле (34). Если параметры воздуха отличаются от нормальных, пересчитывают концентрацию на нормальный воздух по формуле (37). Запыленность воздуха, полученную по результатам испытаний, сравнивают с предельно допустимыми концентрациями по ГОСТ 12.1.005—76.

После выполнения работы № 7 необходимо ответить на следующий вопрос: какие концентрации пыли в воздухе рабочих помещений допускаются по ГОСТ 12.1.005—76 для различных видов пыли?

§ 9. Лабораторная работа № 8. Определение запыленности воздуха в воздухопроводах и коэффициента очистки пылеотделителя (фильтра или циклона)

Продолжительность 4 ч

Цель работы. Научиться отбирать пылевые пробы и определять концентрацию пыли в воздухопроводах и коэффициент очистки в пылеотделителях при исследовании и испытании вентиляционных установок и пылеотделителей.

Необходимые приборы и приспособления. Пневмометрическая трубка, микроманометр, ротационная ус-

тановка (см. рис. 31) или реометр с пылесосом, пылевой питатель, фильтр с комбинированным патроном, весы, пинцет, зажим Гофмана, штатив, пылезаборная трубка с зажимным патроном, секундомер.

Необходимые знания. Условие изокинетичности потоков и особенности отбора пылевых проб в воздухопроводах. Устройство и принцип действия контрольно-измерительных приборов для определения запыленности воздуха (гл. III, § 3).

Порядок выполнения работы. Составляют форму таблицы 13. Включают вентиляционную установку и замеряют динамические давления не менее чем в 12 точках воздухопровода на выходе пылеотделителя (фильтра или циклона) по двум взаимно перпендикулярным направлениям для определения скорости воздуха в каждой точке. Точки отбора проб берут по схеме, приведенной на рисунке 45. Для определения расстояния точек замеров от стенок воздухопровода пользуются приложением 2. По динамическому давлению из приложения 3 или по формуле (26) определяют скорость воздуха в каждой точке. Результаты этих измерений заносят в таблицу 13 (гр. 6 и 7). Затем собирают установку, как показано на рисунках 31 и 34. При отсутствии зажимного патрона *4* (см. рис. 34) патрон *7* с фильтром соединяют коротким резиновым шлангом с пылезаборной трубкой. Одно из главных условий отбора пылевых проб в воздухопроводах — соблюдение изокинетичности потоков, чтобы скорость просасывания воздуха через входное отверстие пылезаборной трубки была равна скорости движения воздуха в данной точке воздухопровода. Скорость всасывания в пылезаборной трубке зависит от расхода воздуха по ротаметру *2* воздуходувной машины *4* (см. рис. 31), а также от диаметра входного отверстия пылезаборной трубки.

Для регулирования скорости во входном отверстии пылезаборной трубки изменяют расход регулятором *3* (см. рис. 31) или применяют сменные насадки в пылезаборной трубке разного диаметра, которые показаны на рисунке 35.

Чтобы определить необходимый диаметр насадки пылезаборной трубки по расходу воздуха в ротаметре или реометре и по скорости воздуха, пользуются графиком, приведенном на рисунке 36. Если, например,

наименьшая скорость воздуха в данной точке воздухопровода составляет 6 м/с, то наиболее рационально пользоваться насадкой диаметром 7 мм, так как при этом расход воздуха по показанию ротаметра будет 14 л/мин. При скорости от 6 до 9 м/с расход по ротаметру нужно увеличить до 20 л/мин, что является пределом расхода ротационной установки. Для определения диаметра насадки можно также пользоваться формулой (33).

Перед отбором пробы фильтры взвешивают на аналитических весах. Массу каждого фильтра и его порядковый номер заносят в таблицу 13 и проставляют на выступе защитного кольца фильтра. Продолжительность отбора пробы запыленного воздуха на фильтре определяют по формуле (35) или по таблице 14. Продолжительность отбора пробы в каждой точке воздухопровода принимают 0,5—2 мин. После отбора пылевой пробы фильтр взвешивают на тех же аналитических весах. Зная массу чистого фильтра и массу фильтра с пылью, подсчитывают по формуле (34) концентрацию на выходе из пылеотделителя фильтра или циклона.

Для определения коэффициента очистки пылеотделителя необходимо знать запыленность воздуха не только на выходе, но и на входе в пылеотделитель. При выполнении работы в лабораторных условиях запыленность воздуха на входе в пылеуловитель может быть создана пылевым питателем, который подает определенное количество пыли в воздухопровод перед пылеуловителем. Конструкция пылевых питателей может быть различной. Возможен пылевой питатель аэрационного типа. Стеклянный сосуд питателя вместе с пылью взвешивают до и после опыта. По разности весов находят количество пыли, поданной в воздухопровод за время опыта. Разделив массу пыли на объем воздуха за время опыта, находят концентрацию пыли до пылеуловителя по формуле (68). В стеклянный сосуд, наполненный пылью на $^2/_3$ объема, снизу нагнетают воздух из пылесоса. Через отверстие верхней пробки и стеклянную трубку с резиновым шлангом аэрированная пыль попадает в воздухопровод вентиляционной сети через стеклянную изогнутую трубку, которую вставляют в воздухопровод.

Возможно применение вибрационного питателя с подачей пыли во всасывающий воздухопровод при входе

в вентилятор на стенде (см. рис. 5). В этом случае всасывающий воздухопровод отсоединяют от коробки ЦАГИ. На входе устанавливают предохранительную сетку и питатель.

Зная запыленность воздуха на входе a_1 и на выходе a_2, коэффициент очистки пылеотделителя определяют по следующей формуле:

$$\zeta_{\text{п}} = \frac{a_1 - a_2}{a_1} \leqslant 1{,}0, \qquad (67)$$

или в процентах

$$\zeta_{\text{п}} = \frac{a_1 - a_2}{a_1} 100,$$

где a_1 — запыленность воздуха перед пылеотделителем, в воздухопроводе, найденная по формуле

$$a_1 = \frac{m_1 - m_2}{Qt}, \qquad (68)$$

a_2 — запыленность воздуха после пылеотделителя, определенная по формуле (34); она не должна превышать 100 мг/м³ на мучной пыли и 60...80 мг/м³ на зерновой пыли при выбросе в атмосферу; m_1 и m_2 — массы пылевого питателя до опыта и после опыта, мг; t_1 — время работы пылевого питателя, с; Q — расход воздуха в воздухопроводе до пылеотделителя, определенный по формуле (45), м³/с.

Если доступ к выхлопу воздуха из пылеотделителя свободен, лучше отбирать пробы непосредственно с помощью патрона без пылезаборной трубки. Для этого вместо гайки *1* (см. рис. 32, *б*) применяют насадки с различными диаметрами входных отверстий или измеряют запыленность воздуха на выходе из циклона прибором ИКП-1.

В случае повышенных расходов (от 30 до 100 л/мин) в патроне за фильтром ставят опорную металлическую сетку *3* (см. рис. 33) для устранения прогиба и повреждения фильтра.

При проведении опытов и расчете концентрации пыли в воздухопроводе перед пылеотделителем по формуле (68) не следует допускать наличия взрывоопасной концентрации. Для этого полученный по формуле (68) результат нужно сравнить с минимальным пределом взрывоопасной концентрации для данного вида пыли (см. приложение 6). Концентрация пыли в воздухопроводах не должна превышать 50% от минимального нижнего предела взрывоопасной концентрации. Если

запыленность воздуха при опытах получилась взрывоопасной, надо уменьшить навеску пыли в пылевом питателе или увеличить время работы пылевого питателя.

При испытании пылеотделителя в производственных условиях массу пыли можно определить балансовым методом, собирая и взвешивая пыль, уловленную пылеотделителем, с прибавлением пыли, уносимой очищенным воздухом.

Найденную массу пыли, осажденную в пылеотделителе, подставляют в числитель формулы (68) вместо разности масс питателя (t_1 — время отбора пыли из самотечной трубы пылеотделителя).

При испытании или исследовании циклона на стенде (см. рис. 5) с расходами воздуха не более 1000 м^3/ч концентрацию пыли a_2 после циклона можно определить посредством улавливания всей пыли из очищенного воздуха специальным фильтром из синтетического материала ФПП. Фильтр площадью не менее 2 м^2 устанавливают на выходе циклона в рамке с сеткой после диффузора.

Фильтр взвешивают до и после опыта. Максимальная пылеемкость фильтра до 50...100 г/м^2 с сопротивлением до $H_ф = 50...100 v_ф$ ($v_ф$ — скорость фильтрации, м/с).

После выполнения работы № 8, обработки и анализа результатов измерений из таблицы 13 необходимо ответить на следующие вопросы.

1. Почему при отборе пылевой пробы из воздухопровода нужно соблюдать изокинетичность потоков?
2. Какие концентрации пыли допустимы в воздухопроводах по условиям взрывобезопасности?
3. Какой коэффициент очистки воздуха от пыли получен при исследовании или испытании пылеотделителя (фильтра или циклона) по сравнению с литературными данными?

§ 10. Лабораторная работа № 9. Обнаружение и устранение дефектов при эксплуатации вентиляционных установок

Продолжительность 4 ч

Цель работы. Научиться выявлять и устранять дефекты в вентиляционных установках, являющиеся причинами ухудшения эффективности их работы при эксплуатации.

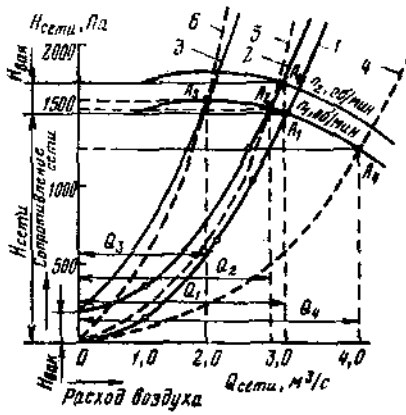


Рис. 54. Характеристика вентиляционной сети.

Необходимые приборы и инструменты. Тахометр, вольтметр, металлическая линейка, микроманометр пневмометрическая трубка, резиновые шланги.

Необходимые знания. Потери давления в аспирируемом оборудовании, воздухопроводах и пылеотделителях. Характеристика вентиляционной сети и влияние ее изменения при эксплуатации на работу вентилятора. Характеристика вентиляторов. Мощность для привода вентилятора.

Порядок выполнения работы. Перед выполнением работы необходимо уяснить графическую характеристику вентиляционной сети, наложенную на характеристику вентилятора (рис. 54), формулу характеристики сети

$$H_{\text{сети}} = K_c Q_c^2, \qquad (69)$$

где K_c — коэффициент сопротивления сети; Q_c — расход воздуха в сети, м³/с.

Кривая характеристики сети, выраженная формулой (69), представляет собой параболу (рис. 54, *1*), проходящую через начало координат. При наложении характеристики сети на характеристику подобранного вентилятора с частотой вращения n_1 (в об/мин) точка A_1 является рабочей точкой вентилятора и сети с расходом воздуха $Q_c = Q_1$ (в м³/с) с давлением вентилятора $H_в$, равным сопротивлению сети $H_{\text{сети}}$.

При нарушении правил технической эксплуатации вентиляционных установок возникают дефекты, которые изменяют характеристику вентиляционной сети, что приводит к нарушению эффективности ее работы. Так, например, закупорка аспирационных отверстий в аспирируемом оборудовании или осаждение пыли внутри воздухопроводов повышают коэффициент сопротив-

ления сети K_c в формуле (69), и кривая характеристики сети становится круче (рис. 54, *5*).

При этом рабочая точка перемещается влево из точки A_1 в точку A_2. Расход воздуха, отсасываемого от оборудования, уменьшается с Q_1 до Q_2.

Уменьшение расхода воздуха в сети приводит к уменьшению скорости и осаждению пыли в воздухопроводах, что еще больше повышает коэффициент сопротивления сети K_c, и кривая характеристики сети становится еще круче (рис. 54, *6*). При этом рабочая точка перемещается в точку A_3 с минимальным расходом воздуха Q_3 и сеть прекращает эффективную работу. Перемещение рабочей точки влево в точку A_3 уменьшает расход воздуха, повышает давление вентилятора, уменьшает его КПД, что приводит к увеличению мощности на привод вентилятора [по формуле (56)] и недопустимой перегрузке электродвигателя.

При эксплуатации возможны дефекты, которые уменьшают коэффициент сопротивления сети, и кривая характеристики сети перемещается вправо, становится более пологой (рис. 54, *4*). Такое изменение характеристики сети происходит при нарушении герметизации. Например, не закрыты смотровые дверки корпусов аспирируемого оборудования, не закрыты смотровые люки в воздухопроводах или во всасывающих фильтрах.

При нарушении герметизации сети увеличивается непроизводительный расход воздуха вентилятора уменьшается его КПД и увеличивается мощность для привода.

Увеличение расхода воздуха, подсасываемого через неплотности из помещения, уменьшает отсос воздуха от аспирируемого оборудования, приводит к осаждению пыли в воздухопроводах и эффективная работа сети прекращается.

Характеристика вентиляционной сети может изменяться также от наличия вакуума в рабочих помещениях. Вакуум в помещениях образуется обычно в отапливаемый период года в результате повышенных воздухообменов. Вакуум в помещении равен разности атмосферных давлений в помещении P и снаружи P_a.

$$H_{вак} = P - P_a.$$

Величину вакуума в рабочих помещениях можно замерить микроманометром. Для этого конец резиново-

го шланга подсоединяют к штуцеру чашки «плюс» микроманометра, а другой конец этого шланга выводят через форточку окна наружу. Допустимая величина вакуума в рабочих помещениях 50 Па.

Вакуум в помещении изменяет уравнение характеристики сети, так как ее сопротивление увеличивается и кривая характеристики сети принимает следующий вид:

$$H_{\text{сети}} = H_{\text{вак}} + K_c Q_c^2 . \qquad (70)$$

Из уравнения (70) и рисунка 54 видно, что кривая характеристики сети не проходит через начало координат, а идет выше на величину $H_{\text{вак}}$. Рабочая точка A_1 смещается влево в точку A_2. При этом давление вентилятора увеличится до $H_{\text{в}} > H_{\text{сети}}$, расход воздуха уменьшится до $Q_2 < Q_1$.

Уменьшение расхода воздуха в сети вызывает уменьшение скоростей воздуха и осаждение пыли. Это приводит к повышению коэффициента сопротивления сети K_c и кривая характеристики сети перемещается еще круче (см. рис. 54, *3*). Рабочая точка при этом перемещается в A_3, расход воздуха в сети резко уменьшается до $Q_3 < Q_2$ и вентиляционная установка работает неэффективно.

Устранить вредное влияние вакуума на работу вентиляционных установок можно двумя способами. Первый способ состоит в повышении частоты вращения вентилятора с n_1 до n_2, когда рабочая точка перемещается из A_1 в A_0. Этот способ неэкономичен из-за увеличения давления вентилятора до $H_{\text{в}} = H_{\text{сети}} + H_{\text{вак}}$ и увеличения мощности на привод вентилятора. Второй способ заключается в устранении вакуума. Повышенный вакуум особенно проявляется в отапливаемый период года, так как он вызывается повышенным воздухообменом, отсутствием рециркуляции и притока воздуха в помещения. Для уменьшения вакуума необходимо уменьшить воздухообмен до нормального (1...1,5 обмена в час на мукомольных и крупяных заводах и до 1,5...3 обменов в час на элеваторах). Для борьбы против повышенных воздухообменов и вакуумов применяют сети с рециркуляцией, кондиционированием, организованным подводом воздуха, с замкнутым циклом воздуха или устанавливают приточные камеры.

После устранения вредного влияния вакуума на работу сети следует ознакомиться с перечнем дефектов, которые могут возникнуть при длительной эксплуатации и вызвать изменение характеристики сети. Перечень возможных дефектов приведен в таблице 15.

При выявлении дефектов осматривают вентилятор, проверяют частоту вращения, состояние привода и воздухопроводов, особенно у входного отверстия вентилятора. *Осматривают всасывающий фильтр или циклон*, воздухопроводы и аспирируемое оборудование. Записывают обнаруженные дефекты и дают рекомендации по их устранению.

При выполнении этой работы необходимо учитывать, что в процессе длительной эксплуатации некоторых вентиляционных установок может резко ухудшаться эффективность аспирации оборудования. При эксплуатации вентиляционных установок нужно учитывать особую чувствительность этих установок к нарушению нормального режима их работы. У вентиляционных установок даже один небольшой дефект вызывает нарушение эффективности работы всей аспирационной сети.

Установить эти дефекты можно только при внимательном осмотре и проверке всех частей вентиляционной установки. В случае обнаружения дефекта в *какой-либо части установки нужно устранить не только* этот дефект, но и те последствия в нарушении нормальной работы, которые вызваны этим дефектом. Например, обнаружены незакрытые лючки в воздухопроводе или осевшая пыль. При устранении этих дефектов недостаточно закрыть лючки и очистить от пыли воздухопровод на одном участке. Необходимо также осмотреть и очистить от пыли горизонтальные участки остальных воздухопроводов сети.

Одно лишь устранение обнаруженных дефектов без очистки воздухопроводов от осевшей пыли на всех участках сети не приведет установку в работоспособное состояние, так как осевшая пыль вызывает повышение *сопротивления сети и уменьшение расхода воздуха*, перемещаемого вентилятором.

Выявлять дефекты аспирационной сети рекомендуется в такой последовательности: вентилятор — пылеотделитель (фильтр, циклон и др.) — воздухопроводы — аспирируемое оборудование.

Таблица 15. **Перечень возможных дефектов аспирационных сетей**

Дефекты и причины их возникновения	Влияние на эффективность работы аспирации	Способы устранения дефекта
	Вентилятор	
Уменьшилась частота вращения (проверяют тахометром): а) из-за скольжения ремней б) из-за падения напряжения электросети	Уменьшаются расходы и скорости воздуха, осаждается пыль в воздуховодах, повышается запыленность воздуха в помещениях, ухудшается аспирация оборудования	Натянуть приводные ремни. Повысить напряжение электросети до нормального, очистить воздуховоды от пыли
Воздуховод около всасывающего отверстия имеет трещины (щели) из-за вибрации вентилятора и воздуховодов	Появляются подсосы воздуха из помещения, уменьшается расход воздуха от аспирируемого оборудования, повышается запыленность воздуха	Уплотнить щели или заменить воздуховод, уменьшить вибрацию вентилятора или сделать эластичную вставку около всасывающего отверстия вентилятора, очистить воздуховоды.
Рабочее колесо вентилятора вращается в обратную сторону из-за замены фазы во время ремонта электродвигателя	Резко уменьшается расход воздуха в аспирационной сети. Аспирация не работает	Поменять фазы электродвигателя, очистить воздуховоды от пыли
Неправильно закреплено рабочее колесо на валу вентилятора, перекос и нарушение балансировки	Сильная вибрация, шум, выход из строя подшипников, авария	Снять рабочее колесо, закрепить и отбалансировать
Лопатки рабочего колеса засорились примесями при работе на запыленном воздухе	Уменьшаются расход воздуха, давление и КПД вентилятора, ухудшается работа всей сети, повышается расход энергии	Очистить лопатки и воздуховоды от пыли

Продолжение

Дефекты и причины их возникновения	Влияние на эффективность работы аспирации	Способы устранения дефекта
Всасывающий фильтр		
Потеряна герметичность шкафа и сборного конуса фильтра из-за неплотно закрытых люков, появились неисправности клапанов, отсутствуют уплотнения у вертикальных тяговых подвесок рукавов встряхивающего механизма	Увеличиваются подсосы воздуха в фильтре и уменьшаются отсосы воздуха от аспирируемого оборудования, повышается запыленность воздуха в помещении, осаждается пыль в воздухопроводах	Заменить прокладки в люках, затянуть крепежные болты, поставить уплотнения в тягах, уплотнить клапаны, очистить воздухопроводы от пыли
Не работает или плохо работает механизм продувки рукавов: а) отвернулся стопорный болт кулачков на распределительном или кулачковом валу б) износились кулачки	Повышается сопротивление ткани фильтра, уменьшается расход воздуха в аспирационной сети, повышается запыленность воздуха в помещении, осаждается пыль в воздухопроводах	Проверить и закрепить кулачки. Заменить и отремонтировать кулачки и рычаги, очистить воздухопроводы от пыли
Оборвалось несколько рукавов вместе с верхним креплением	Уменьшается рабочая фильтрующая поверхность, повышается сопротивление фильтра, уменьшается расход воздуха в сети и повышается запыленность воздуха в помещении	Закрепить рукава к верхней раме, заменить крепление. Очистить воздухопроводы от пыли
Оторвались рукава от патрубков из-за слабой затяжки крепежных хомутов (колец) или из-за недостаточного припуска на подъем при встряхивании	Запыленный воздух не очищается в фильтре и выбрасывается в атмосферу, запыляя помещение и территорию	Закрепить рукава к патрубкам с припуском на подъем при встряхивании
Забилась ткань фильтра из-за плохой очистки или конденсации влаги и клейстеризации мучной пыли	Повышается сопротивление фильтра, уменьшается расход воздуха в сети и увеличивается запыленность воздуха в помещении	Исправить механизм очистки ткани, проверить клапаны обратной продувки, заменить рукава новыми

Продолжение

Дефекты и причины их возникновения	Влияние на эффективность работы аспирации	Способы устранения дефекта
Износились или порвались рукава фильтра	Запыленный воздух проходит через отверстия без очистки и выбрасывается в атмосферу	Починить прорванные рукава или заменить новыми
Не работают шнеки сборного конуса или шлюзовой затвор из-за остановки электродвигателя или неисправности привода	Пыль накапливается в сборном конусе, создается подпор, повышается сопротивление фильтра, понижается расход в сети. Повышается запыленность воздуха в помещении	Очистить сборные конусы от пыли, пустить шнеки и шлюзовой затвор, очистить воздухопроводы от пыли
	Циклоны	
Забилось входное отверстие крупной пылью в перегородках входных патрубков батарейных циклонов	Повышается сопротивление сети, уменьшается расход воздуха, ухудшается аспирация оборудования и коэффициент очистки циклона, повышается запыленность воздуха в помещении	Прочистить входные патрубки, уменьшить толщину перегородок во входном патрубке
Появился подпор пыли в конусе циклона:	То же	
а) из-за неисправности шлюзового затвора или клапанов в самотеке на выпуске пыли	» »	Исправить шлюзовой затвор или клапаны
б) из-за наличия выступов прокладок во фланцевом соединении выходного патрубка для пыли	» »	Устранить выступы во фланцевом соединении на выпуске пыли
в) из-за образования корки пыли вследствие конденсации водяных паров, клейстеризации и смерзания пыли внутри циклона	» »	Очистить внутреннюю поверхность конуса от пылевой корки. Утеплить циклон и воздухопроводы

Продолжение

Дефекты и причины их возникновения	Влияние на эффективность работы аспирации	Способы устранения дефекта
Воздухопроводы		
Неплотно закрыты лючки, предназначенные для очистки воздухопроводов и проведения замеров	Подсос воздуха из помещений, уменьшается расход воздуха в аспирируемом оборудовании, увеличивается запыленность воздуха в помещении	Закрыть плотно лючки, установив прокладки, очистить воздухопроводы от пыли
Нарушена герметичность в соединениях воздухопроводов из-за отсутствия прокладок и плохой затяжки болтов во фланцевых и манжетных соединениях	То же	Установить прокладки и затянуть крепежные болты, очистить воздухопроводы от пыли
Образовались пробоины или трещины из-за повреждений при ремонте или вибрации	» »	Заменить поврежденные участки. Устранить вибрацию
Внутри воздухопроводов на горизонтальных участках осела пыль из-за повышения сопротивлений в сети или по другим причинам, перечисленным выше	Повышается сопротивление сети, уменьшается расход воздуха в сети, уменьшается КПД вентиляторов и увеличивается мощность электродвигателей привода вентиляторов	Прочистить воздухопроводы с обязательным устранением причин, вызывающих осаждение пыли
Внутри воздухопроводов образовалась корка при клейстеризации пыли из-за конденсации водяных паров	Повышается сопротивление сети, уменьшается расход воздуха в сети, уменьшается КПД вентиляторов и увеличивается мощность электродвигателей привода вентиляторов	Прочистить воздухопроводы с обязательным устранением причин конденсации, повысив температуру воздуха в помещении или утеплив воздухопровод
Образовались вмятины в воздухопроводах	То же	Заменить или выправить поврежденные участки

Продолжение

Дефекты и причины их возникновения	*Влияние на эффективность работы аспирации*	*Способы устранения дефекта*
Аспирируемое оборудование		
Нарушена герметичность в корпусах или аспирационных кожухах оборудования из-за неплотно закрытых смотровых люков, дверок и кожухов	Уменьшается сопротивление аспирируемой машины, нарушается равенство потерь давления в тройниках, происходит пыление аспирируемого оборудования	Установить новые прокладки, исправить уплотнение в кожухах, затянуть крепежные болты, плотно закрыть двери и люки
Засорились продуктами или пылью аспирационные каналы, входные и выходные отверстия	Повышается сопротивление и уменьшается расход воздуха в сети, ухудшается аспирация оборудования и увеличивается запыленность воздуха в помещении	Прочистить аспирационные каналы, входные и выходные отверстия воздухопровода с устранением причин, повышающих сопротивление сети
Произошла закупорка или закрытие специальных входных отверстий (щелей) в корпусах аспирационного оборудования	То же	Открыть входные отверстия в корпусах аспирируемого оборудования, очистить воздухопроводы от пыли
Произошло чрезмерное закрытие регулирующих клапанов в аспирируемом оборудовании	» »	Открыть и отрегулировать клапаны, очистить воздухопроводы от пыли

Подсосы воздуха в сети, фильтрах и воздухопроводах устанавливают измерением расхода воздуха в определенных сечениях. Так, например, для определения подсоса воздуха во всей сети находят суммарный расход воздуха, замеренный после каждой машины, и вычитают его из расхода воздуха, замеренного при входе в вентилятор или при выходе.

Повышение сопротивлений на отдельных участках сети *обнаруживают непосредственными измерениями* потерь давления либо по расходам воздуха. С увеличением сопротивления на участке всегда уменьшается расход воздуха на этом участке. С уменьшением сопротивления участка расход воздуха увеличивается.

Глава V

МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЕНТИЛЯЦИОННЫХ УСТАНОВОК ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КУРСОВЫХ И ДИПЛОМНЫХ ПРОЕКТОВ

Работа вентиляционных установок на промышленных предприятиях в основном зависит от уровня их проектирования. Поэтому проектирование вентиляционных установок — важнейший этап в формировании высококвалифицированного инженера. Первые инженерные навыки в проектировании приобретаются при выполнении курсового проекта, которые закрепляются и развиваются в дальнейшем в процессе дипломного проектирования и в практической инженерной работе.

§ 1. Содержание и объем проекта

В курсовом проекте должна быть запроектирована одна вентиляционная установка (одна сеть) на элеваторе, мукомольном, крупяном или комбикормовом заводе с расчетами и пояснениями в записке. Вместо вентиляционной установки может быть запроектирована пневмотранспортная установка или комбинированная вентиляционно-пневмотранспортная установка.

В начале проекта предусматривается выполнение некоторых общих вопросов проектирования вентиляционных установок всего цеха: выявление аспирируемого оборудования всего цеха, расчет воздухообмена с обоснованием выбора типов проектируемых сетей, компоновка сетей.

В объем проекта входит также спецчасть — монтажный чертеж устройства аспирации какой-либо машины или вентилятора, пылеотделителя или же рабочий чертеж фасонной части воздухопровода: отвода, конфузора или тройника.

Объем графической части проекта — три листа, формат 24 594×840.

Лист № 1. Вентиляционная установка в масштабе 1:50. Вычерчивают на планах и разрезах здания

цеха воздухопроводы в диаметрах (сборочный чертеж), или, согласно заданию, чертят воздухопроводы одной утолщенной линией монтажный чертеж.

Лист № 2. Сборочный чертеж воздухопроводов одной вентиляционной сети в масштабе 1 : 20 или 1 : 10 со спецификацией или монтажная схема сети с экспликацией без масштаба.

Лист № 3. Монтажный чертеж устройства аспирации какой-либо машины или фасонной части воздухопровода или же монтажный чертеж вентилятора, пылеотделителя в масштабе 1 : 5 или 1 : 10.

Объем пояснительной записки с расчетами, схемой сети и эскизами — 20 страниц.

В дипломном проекте проектируют вентиляционные установки всего предприятия с разработкой чертежей нескольких сетей и аспирируемых машин с расчетами. Объем графической части проекта 10—12 листов. Пояснительная записка — 80—100 страниц.

Темы курсовых проектов при проектировании вентиляционных установок для предприятий по хранению и переработке зерна могут быть разнообразны:

а) запроектировать вентиляционную установку в верхней части башни элеватора, в надсилосном этаже, на сепараторных этажах, в нижней части башни элеватора с подсилосным этажом, в приемных устройствах элеватора;

б) запроектировать вентиляционную установку в зерноочистительном, размольном или выбойном отделениях мукомольного завода;

в) запроектировать вентиляционную установку в зерноочистительном или шелушильном отделении крупяного завода;

г) запроектировать вентиляционную установку на комбикормовом заводе;

д) запроектировать вентиляционную установку в механизированном зерновом складе, в перекидной промежуточной башне, на семяобрабатывающем заводе или в галереях.

Темой проекта может быть проектирование комбинированных вентиляционно-пневмотранспортных установок, в которых воздух используют сначала для аспирации оборудования, а затем для пневмотранспортирования. Возможны также темы по реконструкции существующих вентиляционных установок, запроектирован-

ных или действующих на предприятиях, для их усовершенствования и разработки других, более выгодных вариантов. Особенно желательны темы реальных проектов, выполняемых по просьбам промышленных предприятий и проектных организаций.

Сроки выполнения и объем отдельных этапов проектных работ установлены примерно и могут быть изменены. Объем проекта: три листа чертежей и 20 страниц текста.

Содержание проекта и порядок его выполнения

1. Перечертить планы и разрезы цеха на лист № 1 в масштабе 1 : 50, руководствуясь синьками чертежей, с соблюдением ЕСКД.

2. Ознакомиться со всем установленным оборудованием цеха и выявить оборудование, подлежащее аспирации.

3. Составить таблицу № 1 всего оборудования цеха, подлежащего аспирации, с указанием цели аспирации и других данных по форме таблицы 16. Срок исполнения пп. 1, 2 и 3 — третья неделя.

4. Определить общий расход воздуха и подсчитать воздухообмен при центральных сетях с удалением всего воздуха из помещений наружу.

5. Исходя из нормального воздухообмена, выбрать тип проектируемых сетей.

6. Произвести объединение (компоновку) всего оборудования по вентиляционным сетям с учетом принципов компоновки. Определить количество сетей в цехе. Составить таблицу 2 на одну сеть, принятую для разработки в проекте, по форме таблицы 17.

7. Подобрать и рассчитать пылеотделитель к проектируемой сети, наметить место его установки на плане и разрезах цеха (лист № 1). Определить сопротивление пылеотделителя.

8. Подобрать предварительно вентилятор к проектируемой сети, определить место его установки на плане и разрезах цеха (лист № 1). Срок исполнения пп. 4...8 — четвертая неделя.

9. Вычертить трассу воздухопроводов данной сети на разрезах и планах на листе № 1 в диаметрах в масштабе 1 : 50 сборочный чертеж или вычертить воздухопроводы одной утолщенной линией монтажный чертеж. Срок исполнения — седьмая неделя.

10. Составить расчетную схему запроектированной сети, нанести на схему все данные для расчета и рассчитать эту сеть по первому методу потерь давления на единицу длины.

11. По результатам расчета сети подобрать окончательно вентилятор, определить его частоту вращения, КПД. Срок исполнения пп. 10 и 11 — восьмая неделя.

12. Рассчитать мощность электродвигателя для привода вентилятора, подобрать электродвигатель, определить тип передачи и исполнение вентилятора.

13. Вычертить сборочный чертеж вентиляционной сети в виде плоской или пространственной схемы в воздухопроводах (лист № 2) в масштабе 1 : 10 или 1 : 20 или монтажную схему

сети с экспликацией. Срок исполнения пп. 12 и 13 — девятая неделя.

14. Выполнить монтажный чертеж спецчасти проекта в соответствии с ЕСКД в объеме одного листа, с учетом требований методики проектирования устройства аспирации оборудования.

15. Составить спецификацию к проекту и оформить пояснительную записку с расчетами и эскизами с учетом ЕСКД. Срок исполнения — одиннадцатая неделя.

16. Защита проекта — двенадцатая неделя.

Срок выполнения проекта с _____ по _____ 198____

Задание выдал консультант _____

Руководитель курса _____

Задание получил студент _____

Зав. кафедрой _____

При выдаче задания на курсовой (дипломный) проект студенту выдаются синьки чертежей предприятия для перечерчивания в масштабе 1 : 50. На планах и разрезах чертежей цеха должно быть изображено оборудование, подлежащее аспирации, а также все остальное оборудование, кроме вентиляционного.

Оформление пояснительной записки и чертежей проекта дано в § 9 настоящей главы.

§ 2. Основные требования, предъявляемые к проектируемым вентиляционным установкам

Запроектированные вентиляционные установки должны удовлетворять современным требованиям: быть высокоэффективными, взрывобезопасными, экономичными, эксплуатационно надежными и соответствовать правилам техники безопасности и охраны труда. Проектируемые установки должны удовлетворять требованиям санитарно-гигиенической и технологической эффективности, безопасности, эксплуатационной надежности и экономичности.

Требование санитарно-гигиенической эффективности состоит в том, что проектируемые вентиляционные установки должны защитить окружающую среду от загрязнений, обеспечить в рабочих помещениях нормальные санитарно-гигиенические условия труда, т. е. запыленность воздуха не выше предельно допустимых концентраций по ГОСТ 12.1.005—76 (зерновой пыли не более 4 мг/м^3, мучной пыли не более 6 мг/м^3) и нормальную охлаждающую способность воздуха в рабочих

помещениях, обеспечить эффективную очистку воздуха от пыли при выбросе в атмосферу с запыленностью на мучной пыли не более 100 мг/м³, на зерновой 60...80 мг/м³.

Чтобы выполнить это требование, при проектировании необходимо предусмотреть аспирацию всего оборудования, не только технологического и транспортного, но и вспомогательного, включая все бункера и самотечные трубы. Применять высокоэффективные пылеотделители, чтобы не загрязнять окружающую среду и обеспечить концентрацию пыли в воздухе 30% от ПДК, т. е. на территории элеваторов не более 1,2 мг/м³, на территории мукомольного завода не более 1,8, в местах постоянного проживания населения не более 0,5 мг/м³.

Для уменьшения выброса пыли в атмосферу скорости воздуха при входе в конфузоры (пылеприемники) аспирируемого оборудования уменьшают на зерновой пыли до 2 м/с, мучной — до 0,8, комбикормовой — до 0,5 м/с, применяют фильтры вместо циклонов или двухступенчатую очистку (циклон — фильтр).

Кроме того, проектируемые сети должны обеспечить нормальный воздухообмен в цехах (1—1,5 обмена в час) и не допускать повышенных вакуумов в помещениях более 50 Па.

Требование технологической эффективности заключается в том, что проектируемые вентиляционные установки должны обеспечить нормальную технологическую эффективность работы всего оборудования цеха и технологического процесса в целом. Для выполнения этого требования при проектировании необходимо:

принимать оптимальные расходы воздуха на аспирацию оборудования;

проектировать типы вентиляционных сетей с учетом технологических требований, предъявляемых к параметрам воздуха в цехах. Так, например, в размольных отделениях сортовых мукомольных заводов наиболее благоприятны для технологического процесса размола температура воздуха от +16...23°С, относительная влажность 60...70%, скорость — не более 0,5 м/с. Эти технологические параметры воздуха не противоречат санитарно-гигиеническим требованиям, предъявляемым к воздуху рабочих помещений, а совпадают с ними и могут быть осуществлены посредством проектирования

вентиляционных установок с кондиционированием воздуха.

Проектируемые вентиляционные установки должны быть взрывобезопасны, пожаробезопасны и удовлетворять другим требованиям техники безопасности и охраны труда. Требования взрывобезопасности вентиляционных установок могут быть выполнены посредством проверочных расчетов норм расходов воздуха на аспирацию оборудования из условий взрывобезопасности (см. гл. V, § 10) и соблюдения рекомендаций по предупреждению пылевых взрывов. При расчете размеров конфузоров аспирируемого оборудования на пылевидных продуктах необходимо принимать входные скорости в конфузорах на муке не более 0,8 м/с, на комбикормах — 0,5 и на зерне — 2 м/с.

Для уменьшения взрывоопасности и пожароопасности проектируемых вентиляционных установок можно предусмотреть в некоторых проектах установку внутри воздухопроводов тепловых реле для контроля температуры воздуха с сигнализацией. Особенно желательна установка тепловых реле после оборудования, где возможно повышение температуры во время эксплуатации, например после вальцовых станков. При повышении температуры сверх допустимой тепловое реле подает световой и звуковой предупредительные сигналы об опасности пожара на рабочее место и в пожарную охрану.

Требование эксплуатационной надежности проектируемых вентиляционных установок может быть выполнено, если при проектировании руководствоваться следующими условиями:

машины с регулируемым режимом воздушного потока (сепараторы, ситовеечные машины) выделять в самостоятельные местные вентиляционные установки;

принимать надежно транспортируемые скорости в воздухопроводах на запыленном воздухе не менее 12 м/с;

проектировать в одну сеть не более десяти точек отсоса;

избегать при компоновке сетей объединения в одну сеть оборудования с теплым и холодным воздухом и проводить воздухопроводы через холодные помещения во избежание конденсации водяных паров внутри воздухопроводов.

При необходимости проводят проверочные расчеты на предотвращение конденсации внутри воздухопроводов по формулам (71) и (72):

$$\frac{Kl\Delta t_{ср}}{900vD\rho} \leqslant i_1 - i_{min}, \qquad (71)$$

где K — коэффициент теплоотдачи. Для воздухопроводов из оцинкованной листовой стали можно принимать K=25—29 кДж/м²ч·°С; l — длина воздухопровода, м; $\Delta t_{ср}$ — средняя разность температур воздуха в воздухопроводе: в начале участка при поступлении воздуха из машины в воздухопровод (t_1), в конце участка (t_2) и наружного воздуха в помещении ($t_н$).

$$\Delta t_{ср} = \frac{t_1 - t_2}{\ln \frac{t_1 - t_н}{t_2 - t_н}},$$

v — скорость воздуха в воздухопроводе, м/с; D — диаметр воздухопровода, м; ρ — плотность воздуха, кг/м³; i — первоначальное теплосодержание воздуха внутри воздухопровода, кДж/кг. Определяют по i—d-диаграмме (приложение 1) по температуре t_1 и относительной влажности φ_1; i_{min} — теплосодержание полностью насыщенного воздуха в воздухопроводе при его охлаждении до φ=100%. Определяют по той же диаграмме.

Проверочный расчет при смешивании холодного и теплого воздуха проводят, пользуясь i-d-диаграммой (приложение Г), схемой (рис. 55) и формулой (72).

Например, теплый воздух с температурой t_1 = +25°С, относительной влажностью φ_1=80% смешивается с холодным воздухом (t_2=2°С, φ_2=80%). На рисунке 55 находят точку A, характеризующую теплый воздух, и точку $Б$ — холодный воздух. Соединяют эти точки прямой $АБ$.

Состояние смеси характеризует точка $В$, лежащая на этой прямой и делящая ее на отрезки, обратно пропорциональные массам сухих частей смешиваемых объемов воздуха.

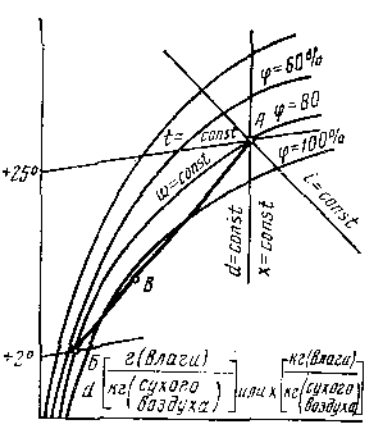


Рис. 55. Схема для определения процесса смешивания теплого и холодного воздуха.

Обозначим массы сухих частей теплого воздуха m^A и холодного $m^Б$. Тогда положение точки B находят из соотношения

$$\frac{AB}{БВ} = \frac{m^Б}{m^A}. \qquad (72)$$

Например, при соотношении масс сухих частей теплого и холодного воздуха, равном 1 : 2, положение точки B определится отрезками AB и $БВ$ (см. рис. 55).

Если точка B, характеризующая состояние смеси, будет находиться ниже кривой $\varphi = 100\%$, то при смешивании происходит конденсация, что недопустимо.

Пример. Определить допустимость смешивания воздуха, удаляемого из щеточной машины размольного отделения с температурой $t_1 = +30°C$, $\varphi_1 = 70\%$, с воздухом, удаляемым из автоматических весов с температурой $t_2 = +5°C$ и влажностью $\varphi_2 = 95\%$. Расход воздуха от щеточной машины составляет 450 м³/ч, от *весов — 750 м³/ч. Определяем массу сухой части воз*духа (в кг/ч) по формуле

$$m = \gamma_{с.в} Q, \qquad (73)$$

где $\gamma_{с.в}$ — содержание сухого воздуха в 1 м³ влажного (определяем по приложению 7).

Для щеточной машины

$$\gamma^A_{с.в} = \frac{1}{0{,}903} = 1{,}11 \text{ кг сухого воздуха в 1 м}^3 \text{ влажного воздуха;}$$

для весов

$$\gamma^Б_{с.в} = \frac{1}{0{,}810} = 1{,}23 \text{ кг сухого воздуха в 1 м}^3 \text{ влажного воздуха.}$$

После этого определяем массу сухих частей (в кг/ч) по формуле (73) в щеточной машине

$$m^A = 1{,}11 \cdot 450 = 500, \text{ в автоматических весах}$$
$$m^Б = 1{,}23 \cdot 750 = 1850 \text{ кг/ч.}$$

На i—d диаграмме (см. рис. 55) находим точки A и $Б$ и измеряем длину прямой $АБ$. Она равна 142 мм.

Положение точки B определяем из формулы (72):

$$\frac{AB}{БВ} = \frac{m^Б}{m^A} = \frac{1850}{500} = 3{,}7; \quad \frac{AB + БВ}{БВ} = \frac{3{,}7 + 1}{1} = 4{,}7;$$

$$БВ = \frac{142}{4,7} = 30 \text{ мм}; \; АВ = 142 - 30 = 112 \text{ мм}.$$

Вывод. Точка $В$ находится в области конденсации $\varphi > 100\%$, поэтому смешивать эти потоки воздуха нельзя.

Избегать малых диаметров воздухопроводов (меньше 100 мм) и длинных горизонтальных воздухопроводов, так как они опасны с точки зрения осаждения пыли и конденсации водяных паров;

в вентиляционных сетях нагнетательного типа применять следует пылевые вентиляторы, так как вентиляторы общего назначения могут засоряться, уменьшать КПД и быстро изнашиваться;

обеспечивать при проектировании и расчете сети для надежной работы фильтров продувкой ткани атмосферным воздухом необходимый вакуум в фильтрах не менее 700 Па, определяя его по формуле

$$H_{вак} = 363 + 2,6Q_{уд}, \qquad (74)$$

где $Q_{уд}$ — удельная нагрузка на ткань, м³/(ч·м²).

Предусматривать в проекте контрольно-измерительные приборы для наблюдения за эффективностью работы установок при эксплуатации.

Требование экономичности состоит в том, что проектируемые установки должны иметь минимальную первоначальную стоимость, наименьший расход энергии и наименьшие эксплуатационные расходы. Для выполнения этого требования при проектировании необходимо:

принимать более дешевые и экономичные при эксплуатации пылеотделители с наибольшим КПД, с меньшим сопротивлением и меньшими габаритными размерами;

стремиться к минимальной длине трасс воздухопроводов, что дает экономию металла и расхода энергии;

избегать необоснованно завышенных скоростей воздуха на участках главной магистрали сети свыше 15 м/с;

потери давления на параллельных участках сетей в тройниках выравнивают увеличением скоростей и уменьшением диаметров воздухопроводов на боковых участках. Это экономит металл и рабочую силу на изготовление и монтаж диафрагм;

при проектировании трассы воздухопроводов вентилятор устанавливать не в конце трассы, а в середине, чтобы иметь параллельные участки и экономить энергию в результате уменьшения длины воздухопроводов главной магистрали;

вентиляторы устанавливать ближе к машинам, имеющим наибольшие потери давления;

при окончательном подборе вентиляторов к вентиляционным сетям принимать наиболее экономичные вентиляторы с максимальным КПД и наименьшими потерями энергии на передачу. Наиболее экономичными исполнениями вентиляторов по типу привода будут *1* и *3* (см. рис. 51).

§ 3. Выявление аспирируемого оборудования, расчет воздухообмена и обоснование типов проектируемых сетей

Из чертежей общих видов цехов по заданной технологической схеме и по спецификации выявляют все оборудование, подлежащее аспирации.

На элеваторах аспирируют: места разгрузки зерна с автомобильного транспорта и железной дороги, приемные бункера, насыпные лотки и сбрасывающие коробки ленточных транспортеров, башмаки и головки норий, надвесовые и подвесовые бункера, весы, поворотные трубы, надсепараторные и подсепараторные бункера; весы, поворотные трубы, насыпные лотки и разгрузочные тележки надсилосных транспортеров, силосы, насыпные лотки и сбрасывающие коробки подсилосных транспортеров, сепараторы и другое зерноочистительное, транспортное и вспомогательное оборудование.

В зерноочистительных отделениях мукомольных и крупяных заводов аспирируют следующее оборудование: зерновые бункера, башмаки и головки норий, шнеки, весы, триеры, камнеотделительные машины, сепараторы, аспирационные колонки, аспираторы, обоечные и щеточные машины, бураты, магнитные и электромагнитные аппараты, увлажнительные машины, влагосниматели, подогреватели зерна, кондиционеры, сушилки, охладители.

В размольных, шелушильных и выбойных отделениях мукомольных и крупяных заводов аспирируют:

вальцовые и плющильные станки, молотковые и дисковые дробилки, деташеры, шелушильные, шлифовальные и полировальные машины, рассевы, центрофугалы, щеточные и бичевые машины, ситовеечные и крупосортировочные машины, пневмосортировальные столы, аспирационные колонки, магнитные и электромагнитные аппараты, весы, нории, шнеки, бункера для продуктов размола зерна, весовыбойные аппараты.

На комбикормовых заводах аспирируют все одноименное оборудование, применяемое на мукомольных и крупяных заводах, и специальное оборудование: дозаторы, измельчители, смесители, прессы, цепные транспортеры.

В цехах, где вместо норий применяют пневматический транспорт, оборудование, из которого продукты поступают в пневмоприемники материалопроводов, должно аспирироваться воздухом пневмотранспортной установки. В этом случае расход воздуха, принятый в расчетах для пневмотранспортирования, должен быть не меньше того, который необходим для аспирации данного вида оборудования. Если продукт поступает после машины *А* не в пневмоприемник материалопровода, а в другую машину *Б*, которая имеет питающий механизм с бункером, то в этом случае следует проектировать аспирацию машины *А* и питающий бункер машины *Б*.

Все оборудование, которое необходимо аспирировать в каждом цехе или на элеваторе, записывают в таблицу 16, в которой указывают наименование, количество, этаж установки, расход воздуха, сопротивление каждого вида оборудования и цели аспирации.

Расход воздуха и сопротивление аспирируемого оборудования принимают по нормам, приведенным в приложении 5.

При заполнении таблицы 16 в пятую графу записывают *расход воздуха на одну машину, учитывая, что* для вальцовых станков нормы даны на 1 м мелющей линии, а для рассевов — на один корпус или прием. Длина мелющей линии в вальцовом станке с длиной валков 1000 мм равна 2 м. В рассеве обычно четыре приема (по два приема на корпус).

Общий расход воздуха в таблице 16 находят как сумму расходов воздуха всего аспирируемого оборудования, суммируя данные шестой графы.

Таблица 16. Аспирируемое оборудование_____ цеха

№ пп.	Тип, марка или производительность оборудования	Количество	Этаж установки	Расход воздуха, м³/ч		Потери давления в машине, Па	Цель аспирации	Примечание
				на одну машину	на все машины			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
...	. . . . .							
	Итого общий расход воздуха по цеху			$...Q_{общ}=\Sigma Q_м=...$				

После выявления аспирируемого оборудования и составления таблицы 16 рассчитывают воздухообмен, обосновывают выбор типов проектируемых сетей для создания нормального воздухообмена и предотвращения образования вакуума в помещениях цеха при работе вентиляционных установок.

Вначале по формуле (75) рассчитывают, какой будет воздухообмен в цехе, если запроектировать один тип вентиляционных сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу

$$i=\frac{Q_{общ}}{V_п}, \qquad (75)$$

где $Q_{общ}$ — общий расход воздуха, м³/ч (принимают из таблицы 16); $V_п$ — внутренний объем всех рабочих помещений цеха, м³, подсчитывают по внутренним габаритным размерам здания из чертежей общего вида цеха.

Обычно $V_п=ab\Sigma h$ (где a — длина, b — ширина, h - высота этажей рабочих помещений цеха). При наличии чердаков или соединительных галерей их объемы прибавляют к объему рабочих помещений цеха.

В тех случаях, когда отдельные этажи рабочих помещений не сообщаются проемами и изолированы друг от друга, то воздухообмен рассчитывают отдельно для каждого изолированного помещения цеха.

Если воздухообмен, рассчитанный по формуле (75), не больше допустимого (1—1,5 обмена в час), то проектируют один тип вентиляционных сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу. Если получают воздухообмен больше допустимого, проектируют два или

три типа сетей: первый тип с выбросом в атмосферу; второй — с организованным подводом или замкнутым циклом (для элеваторов и зерноочистительных отделений мукомольных и крупяных заводов); третий — с рециркуляцией через всасывающий фильтр и мокрый пылеуловитель) или с кондиционированием (для размольных отделений мукомольных и шелушильных отделений крупяных заводов) или применяют приточные камеры.

Количество воздуха, которое проектируют на первый тип сетей с выбросом в атмосферу (в м³/ч), подсчитывают по формуле

$$Q_{выб} = i_н V_п, \qquad (76)$$

где $i_н$ — нормально допустимый воздухообмен в рабочих помещениях; для мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов $i_н = 1...1{,}5$ обмена в час, для элеваторов — до 3.

Количество воздуха (в м³/ч), которое необходимо проектировать на другие типы сетей, определяют по формуле

$$Q_р = Q_{общ} - i_н V_п. \qquad (77)$$

Проектирование организованного подвода воздуха к машинам зерноочистительного отделения в зимнее время может вызвать нежелательное для технологов охлаждение зерна.

Для устранения этого недостатка можно проектировать подогрев подводимого воздуха.

При выборе типов проектируемых сетей на элеваторах необходимо учитывать, что не все оборудование работает одновременно. Поэтому действительный воздухообмен будет меньше рассчитанного по формуле (75). Кроме того, следует учитывать, что некоторые помещения элеватора (например, приемные устройства) незагерметизированы и в них не создается вакуум при повышенном воздухообмене, поэтому проектируют один тип сетей с выбросом очищенного воздуха в атмосферу.

§ 4. Компоновка вентиляционных сетей

Все аспирируемое оборудование цеха, представленное в таблице 16, разбивают на сети, определяют их количество, т. е. проводят компоновку вентиляционных сетей.

Для того чтобы запроектированные установки обладали высокими технико-экономическими показателями и эксплуатационной надежностью при объединении оборудования в сети, соблюдают следующие принципы компоновки:

технологический принцип, состоящий в том, что в одну сеть объединяют такое оборудование, в котором пыль одинакова или близка по качеству;

принцип одновременности работы, состоящий в том, что в одну сеть объединяют оборудование, работающее в одно и то же время:

пространственный принцип, состоящий в том, что в одну сеть объединяют близко расположенное оборудование, чтобы иметь минимальную длину горизонтальных воздухопроводов; кроме того, целесообразно объединять оборудование вертикальными воздухопроводами, а не горизонтальными, что делает сети более экономичными, эксплуатационно надежными;

температурный принцип, состоящий в том, что в одну сеть нельзя объединять оборудование, имеющее разную температуру воздуха, так как при смешивании теплого и холодного воздуха возможна конденсация водяных паров, налипание пыли на стенки воздухопровода и как следствие невозможность эксплуатации;

принцип эксплуатационной надежности, состоящий в том, что машины с регулируемым режимом воздушного потока, а также с собственным вентилятором (например, зерновые сепараторы) проектируют в самостоятельные местные установки; количество точек отсоса в одной сети принимают не более десяти.

Особенности компоновки сетей на элеваторах. На элеваторах по технологическому и температурному принципам все оборудование может быть объединено в одну сеть, так как качество пыли и температура воздуха в оборудовании одинаковы. Поэтому при компоновке сетей на элеваторах руководствуются тремя принципами: одновременности работы, пространственным и эксплуатационной надежности.

По принципу одновременности на элеваторах объединяют в одну сеть оборудование, работающее в одно и то же время в зависимости от технологического маршрута движения зерна. По пространственному принципу компонуют самостоятельные сети на верхних, нижних и сепараторных этажах рабочей башни, на над-

силосном и подсилосном этажах, в приемных устройствах, соединительных галереях и сушилках.

На верхних этажах рабочей башни количество сетей равно количеству норий. В каждую сеть объединяют головку нории и связанное с ней оборудование: надвесовой бункер, весы, поворотную трубу, надсепараторный бункер и насыпной лоток надсилосного транспортера. Головку элеваторной нории и ковш весов лучше аспирировать через надвесовой бункер одним конфузором. В этом случае расход воздуха должен быть принят суммарный (головка+ковш весов+ +бункер).

На нижних этажах рабочей башни минимальное количество сетей равно количеству башмаков норий. С каждым башмаком норий объединяют сбрасывающие коробки ленточных транспортеров, подающих зерно в эту норию. Так как в один башмак нории обычно могут подавать зерно несколько сбрасывающих коробок в разное время, то экономично проектировать автоматическое отключение и включение их аспирации дроссельными клапанами от зерновых заслонок, установленных в самотечных трубах.

Подсилосные и надсилосные ленточные транспортеры с разгрузочными тележками, сепараторы и реверсивные транспортеры проектируют в самостоятельные сети.

Особенности компоновки сетей на мукомольных, крупяных и комбикормовых заводах. На заводах, оборудованных пневмотранспортом, часть оборудования аспирируют воздухом пневмотранспортных установок, непосредственно через самотечные трубы и приемные устройства или подсоединяют воздухопроводами к приемным устройствам пневмотранспорта.

В таблице 16 (гр. 9) указывают, какое оборудование будет аспирироваться воздухом пневмотранспортной установки. Остальное оборудование компонуют в аспирационные сети.

В зерноочистительных отделениях мукомольных и крупяных заводов по технологическому принципу компонуют отдельные сети для оборудования первичной очистки зерна и для оборудования вторичной и окончательной очистки зерна. Зерновые сепараторы с собственными вентиляторами проектируют в местные установки.

В размольных и шелушильных отделениях все оборудование работает в одно и то же время. Поэтому принцип одновременности не влияет на количество сетей.

По технологическому принципу при компоновке сетей учитывают однородность оборудования и равнозначность качества пыли. Кроме того, принимают во внимание также пространственный, температурный и принцип эксплуатационной надежности.

В выбойных отделениях компонуют сети с учетом неодновременности работы выбойных аппаратов, установленных на различных сортах продукции. Поэтому в этих отделениях целесообразнее компоновать местные сети для каждого выбойного аппарата со связанным с ним оборудованием (транспортер, мешкозашивочная машина и бункер для муки).

После компоновки всего оборудования цеха в пояснительной записке указывают, сколько будет в цехе всего сетей с уточнением их типов.

При выполнении курсового проекта принимают для проектирования одну сеть и на нее составляют таблицу 17. Суммируя показатели шестой графы, находят полезный расход воздуха в сети $Q^{п}_{сети}$.

Таблица 17. Сеть №———

№ пп.	Тип, марка или производительность оборудования	Количество	Этаж установки	Расход воздуха, м³/ч		Потери давления в машине, Па	Цель аспирации	Примечание
				на одну машину	на все машины			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	. . . . .							
	Итого полезный расход воздуха в сети		$Q^{п}_{сеть}$=...					

При выполнении дипломного проекта на каждую вентиляционную сеть составляют таблицу 17 или перечисляют все сети в одной этой таблице.

§ 5. Расчет и подбор пылеотделителей, определение их сопротивления и места установки

По найденному расходу воздуха в сети $Q_{сети}$, который по сравнению с полезным расходом $Q^{п}_{сети}$ учитывает 5% подсоса воздуха в воздухопроводах, подбирают или рассчитывают размеры пылеотделителей и определяют их сопротивление.

Вид пылеотделителя принимают в зависимости от типа выбранной сети и характеристики пыли. Например, на элеваторах в сетях с выбросом воздуха наружу применяют батарейные циклоны БЦШ, УЦ или БЦМ, как более простые и надежные в эксплуатации. Высокоэффективной очистки воздуха можно достичь, если применять всасывающие фильтры вместо циклонов или устанавливать их после циклонов при двухступенчатой очистке.

В зерноочистительных, размольных, шелушильных и выбойных отделениях мукомольных и крупяных заводов применяют всасывающие фильтры типа Г4-1БФМ или А1-БФЭ. В сетях с рециркуляцией на окончательной очистке воздуха используют после матерчатых фильтров мокрые фильтры У1-БФА, что уменьшает по-

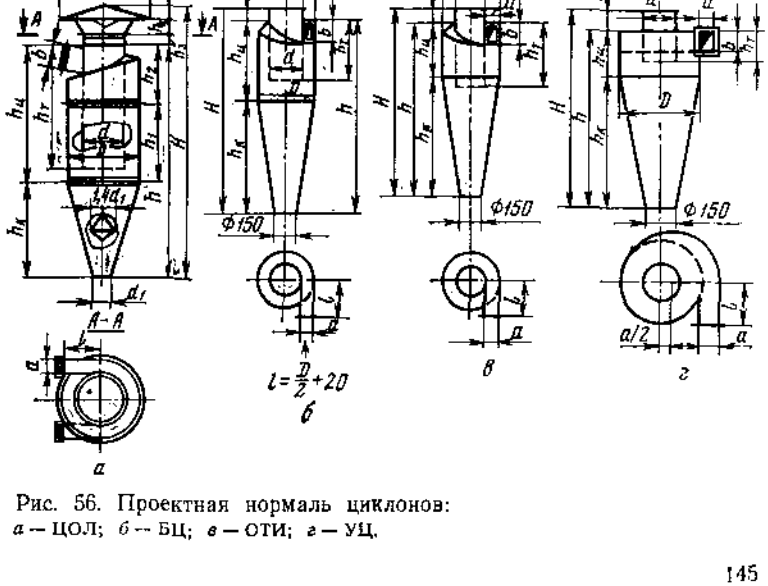


Рис. 56. Проектная нормаль циклонов:
а — ЦОЛ; *б* — БЦ; *в* — ОТИ; *г* — УЦ.

жаро- и взрывоопасность на мукомольных и комбикормовых заводах.

При двукратной очистке воздуха применяют на первой ступени батарейный циклон 4БЦШ или циклоны ЦОЛ, на второй — всасывающий фильтр Г4-1БФМ.

Основные соотношения и параметры циклонов приведены в таблице 18, проектная нормаль показана на рисунке 56.

Циклоны к сетям подбирают следующим образом. По найденному расходу воздуха в сети выбирают из таблиц 19—23 ближайший меньший по диаметру циклон. Затем выписывают габаритные размеры, наружный диаметр и размеры входного отверстия выбранного циклона.

Размеры циклонов ЦОЛ берут из таблицы 19 (рис. 56, *а*), циклонов БЦ по таблицам 20 и 22 (рис. 57), циклонов УЦ по таблицам 21 и 23 (рис. 58). Определив площадь входного отверстия, рассчитывают по формуле (27) скорость входа воздуха в циклон. Найденную расчетом скорость сравнивают с оптимальной скоростью по таблице 18. Если расчетная скорость равна или близка к оптимальной, то циклон выбран правильно.

Сопротивление циклонов рассчитывают по формуле (54), в которую подставляют значение входной скорости, найденное расчетом.

Пример. Подобрать к вентиляционной сети элеватора с полезным расходом воздуха, взятым из таблицы 17, батарейный циклон 4БЦШ. С учетом 5% подсоса в воздухопроводах расход воздуха будет $Q_{сети}=1{,}05\cdot 2720=2860$ м³/ч.

По этому расходу из таблицы 22 принимаем батарейный циклон 4БЦШ-325, состоящий из четырех циклонов ∅ 325 мм. Размеры входного отверстия находим из таблицы 22 (рис. 57) ($B=390$ мм, $Г=140$ мм). Тогда площадь входного отверстия равна

$$S_{вх}=0{,}39\cdot 0{,}14=0{,}0546 \text{ м}^2.$$

Входную скорость воздуха в циклон определяем по формуле (27):

$$v_{вх}=\frac{Q_{сети}}{S_{вх}}=\frac{2860}{3600\cdot 0{,}0546}=14{,}52 \text{ м/с}.$$

Полученная скорость близка к оптимальной, равной 15 м/с. Сопротивление циклонов по формуле (54) равно

$$H_{ц}=\zeta_{ц}\frac{\rho v_{вх}^2}{2}=5\cdot\frac{1{,}2(14{,}52)^2}{2}=632{,}5 \text{ Па}.$$

Таблица 18. **Конструктивные соотношения и параметры циклонов** (см. рис. 56)

Циклон	Диаметр		Высота			Заглубление внутреннего цилиндра $h_т$	Размеры входного патрубка		Оптимальная входная скорость, м/с	Коэффициент сопротивления $\zeta_ц$	Коэффициент очистки $\eta_ц$, %	Зависимость диаметра D (в мм) от расхода Q (м³/ч)
	наружный D	внутренний d	цилиндра $h_ц$	конуса $h_ц$	общая h		a	b				
ЦОЛ (центробежный отделитель ЛИОТ)	1,0	0,6	1,76	1,14	2,9	1,7	0,21	0,36	18	4	До 95	$14{,}4\sqrt{Q}$
БЦ (батарейный ВНИИЗ—НИИОгаз)	1,0	0,6	2,18	2,0	4,18	1,355	0,2	0,58	15—18	5	До 98	$13\sqrt{Q}$
ОТИ	1,0	0,55	0,6	2,5	3,1	0,7	0,225	0,45	10—14	$12D^*$	До 98	$13{,}8\sqrt{Q}$
УЦ-38 (улучшенный циклон)	1,0	0,38	0,8	2,3	3,1	0,5	0,25	0,25	10—12	$20D^*$	До 99	$19{,}5\sqrt{Q}$

* Размеры диаметра приняты в метрах.

Таблица 19. **Размеры циклонов ЦОЛ** (см. рис. 56, *а*)

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм																Масса, кг	Оптовая цена, руб.
		H	D	d	d_1	$h_к$	$h_ц$	h	$h_т$	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	a	b	l		
ЦОЛ-1	1000	1615	453	260	220	520	700	1220	650	450	250	80	100	85	93	163	225	48	28
ЦОЛ-1,5	1500	1945	562	325	220	650	985	1635	900	665	320	80	125	105	115	200	325	65,5	35
ЦОЗ-3	3000	2745	789	457	220	950	1385	2335	1300	860	525	90	175	145	162	283	410	127	52
ЦОЛ-4,5	4500	3375	972	565	220	1180	1705	2885	1600	1000	705	95	215	180	199	348	503	177	68
ЦОЛ-6	6000	3955	1107	640	300	1385	2010	3395	1900	1285	725	95	260	205	229	400	575	282	91
ЦОЛ-7,5	7500	4270	1245	720	300	1420	2240	3660	2000	1505	735	95	290	225	262	448	650	340	—
ЦОЛ-9	9000	4690	1370	798	300	1630	2410	4040	2200	1660	750	95	300	255	281	492	715	409	127
ЦОЛ-10	10000	4950	1440	836	300	1640	2520	4160	2300	1730	790	95	320	275	300	518	770	501	—
ЦОЛ-12	12000	5445	1580	920	300	1925	2780	4705	2500	1950	830	95	350	295	325	568	825	609	178
ЦОЛ-15	15000	6265	1778	1030	300	2340	3110	5450	2800	2200	810	95	390	330	369	635	923	720	—
ЦОЛ-18	18000	6720	1986	1180	300	2420	3420	5840	3000	2490	1000	100	430	360	398	697	1005	853	388
ЦОЛ-20	20000	7070	2036	1220	300	2450	3660	6110	3100	2660	1000	100	470	390	427	733	1055	970	—

Таблица 20. **Размеры циклонов БЦ** (ВНИИЗ—НИИОгаз) (рис. 56, *б*)

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм								
		H	D	d	$h_к$	$h_ц$	h	$h_т$	a	b
БЦ-200	240—300	890	200	120	400	440	840	270	40	115
БЦ-225	300—360	950	225	135	450	450	900	305	45	130
БЦ-250	360—400	1100	250	150	500	550	1050	340	50	145
БЦ-275	400—535	1215	275	165	550	615	1165	375	55	160
БЦ-300	535—600	1310	300	180	600	660	1260	410	60	175
БЦ-325	600—700	1415	325	195	650	715	1365	445	65	190
БЦ-350	700—800	1520	350	210	700	770	1470	475	70	205
БЦ-375	800—900	1625	375	225	750	825	1575	505	75	220
БЦ-400	950—1050	1730	400	240	800	880	1680	540	80	230
БЦ-425	1100—1250	1825	425	255	850	935	1785	575	85	245
БЦ-450	1250—1400	1940	450	270	950	990	1890	610	90	260
БЦ-475	1400—1550	2045	475	285	950	1045	1995	645	95	275
БЦ-500	1550—1700	2150	500	300	1000	1100	2100	675	100	290
БЦ-525	1700—1850	2255	525	315	1050	1155	2205	710	105	305
БЦ-550	1850—2100	2360	550	330	1100	1210	2310	745	110	320
БЦ-600	2100—2350	2570	600	360	1200	1320	2520	815	120	345

Таблица 21. **Показатели циклонов УЦ-38** (см. рис. 56, *г*)

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм									Масса, кг
		H	D	d	$h_к$	$h_ц$	h	$h_т$	a-$в$	l	
УЦ-250	170	825	250	95	575	200	775	125	63	225	11,0
УЦ-300	240	980	300	115	690	240	930	150	75	250	14,9
УЦ-350	330	1135	350	135	805	280	1085	175	88	276	20,0
УЦ-400	430	1290	400	150	920	320	1240	200	100	300	25,2
УЦ-450	545	1445	450	170	1035	360	1395	225	110	325	30,4
УЦ-500	670	1600	500	190	1150	400	1550	250	125	350	38,0
УЦ-550	815	1755	550	210	1265	440	1705	275	137	375	44,3
УЦ-600	965	1910	600	230	1380	480	1860	300	150	400	54,0
УЦ-650	1135	2065	650	245	1495	520	2015	325	162	425	61,3
УЦ-700	1320	2220	700	265	1610	560	2170	350	175	450	70,3
УЦ-750	1525	2375	750	285	1725	600	2325	375	187	475	79,0
УЦ-800	1725	2530	800	300	1840	640	2480	400	200	500	88,2
УЦ-850	1950	2685	850	320	1955	680	2635	425	212	525	103,0

Примечание. Входная скорость воздуха в циклон принята $v_{вх}$=12 м/с.

Таблица 22. **Размеры батарейных циклонов 4БЦШ** (см. рис. 57)

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм										
		D	А	$Б$	$В$	$Г$	$Д$	Е	$Ø^{Ж}$	$Ø^{З}$	$И$	$К$
4БЦШ-200	960—1200	200	1040	212	240	90	271	604	150	120	400	520
4БЦШ-225	1200—1440	225	1160	237	270	100	298	634	150	135	450	585
4БЦШ-250	1440—1600	250	1280	262	300	110	320	668	150	150	500	650
4БЦШ-275	1600—2140	275	1400	287	330	120	346	730	150	165	550	715
4БЦШ-300	2140—2400	300	1520	312	360	130	361	764	220	180	600	780
4БЦШ-325	2400—2800	325	1640	337	390	140	388	814	220	195	650	845
4БЦШ-350	2800—3200	350	1760	362	420	150	411	864	220	210	700	910
4БЦШ-375	3200—3800	375	1880	387	450	160	438	914	220	225	750	975
4БЦШ-400	3800—4250	400	2000	412	470	170	461	964	220	240	800	1035
4БЦШ-425	4400—5000	425	2110	437	500	180	483	1014	220	255	850	1100
4БЦШ-450	5000—5600	450	2230	462	534	194	511	1064	220	270	900	1165
4БЦШ-475	5600—6200	475	2350	487	560	200	539	1114	220	285	950	1230
4БЦШ-500	6200—6800	500	2470	512	594	214	561	1164	220	300	1000	1295
4БЦШ-525	6800—7400	525	2600	537	620	220	575	1214	220	315	1050	1360
4БЦШ-550	7400—8400	550	2710	562	654	234	611	1264	220	330	1100	1245
4БЦШ-600	8400—9400	600	2900	612	700	250	635	1314	220	360	1200	1500

Продолжение

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм										Масса, кг	Оптовая цена, руб.
		Л	М	Н	О	П	Р	С	Т	У	Ф		
4БЦШ-200	960—1200	835	595	2218	2133	393	140	120	330	250	350	228	86
4БЦШ-225	1200—1440	941	625	2388	2213	408	160	140	360	275	375	244	100
4БЦШ-250	1440—1600	1045	655	2558	2453	423	180	160	390	300	400	253	115
4БЦШ-275	1600—2140	1151	685	2728	2613	438	200	180	420	325	425	284	120
4БЦШ-300	2140—2400	1255	715	2948	2823	453	220	200	450	350	450	382	143
4БЦШ-325	2400—2800	1361	750	3128	2990	478	245	225	485	375	475	407	145
4БЦШ-350	2800—3200	1466	785	3308	3158	503	270	250	520	400	500	432	146
4БЦШ-375	3200—3800	1571	815	3482	3319	517	295	275	570	425	525	461	147
4БЦШ-400	3800—4250	1671	850	3652	3474	537	320	300	620	450	550	484	167
4БЦШ-425	4400—5000	1797	885	3817	3639	562	330	310	645	475	575	514	169
4БЦШ-450	5000—5600	1863	920	3782	3797	587	340	320	670	500	600	540	170
4БЦШ-475	5600—6200	1986	955	4152	3959	607	355	335	705	525	625	575	176
4БЦШ-500	6200—6800	2086	990	4322	2144	627	370	350	740	550	650	608	186
4БЦШ-525	6800—7400	2195	1025	4492	4224	637	385	365	775	575	675	641	190
4БЦШ-550	7400—8400	2301	1060	4660	4447	647	400	380	810	575	675	677	199
4БЦШ-600	8400—9400	2520	1130	4830	4610	657	415	395	850	600	700	705	—

Примечания. 1. Размеры в скобках на рисунке 57 даны для циклона 4БЦШ-200 и 4БЦШ-275 со шлюзовым затвором ШУ-6. 2. В циклонах 4БЦШ-300, 4БЦШ-600 устанавливают шлюзовой затвор ШУ-15. 3. Размер *П* дан для расположения шлюзового затвора и привода под перекрытием.

Таблица 23. **Размеры батарейных циклонов УЦ с однорядным расположением** (см. рис. 58)

Циклон	Q, м³/ч	Размеры, мм														Масса, кг	Оптовая цена, руб.
		D	Ø A	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Ø Н		
2УЦ-450	900—1270	450	171	2207	1322	1445	1796	116	570	460	327	250	116	233	180	85	42
3УЦ-450	1350—1950	450	171	2660	1782	1445	2191	233	570	460	327	250	116	349	225	197	64
4УЦ-450	1800—2540	450	171	2777	2242	1445	2248	350	570	460	327	250	116	466	250	265	83
2УЦ-500	1120—1570	500	190	2330	1478	1600	1951	129	632	510	352	300	129	258	180	106	44
3УЦ-500	1680—2355	500	190	2845	1988	1600	2352	258	632	510	352	300	129	387	250	222	66
4УЦ-500	2240—3140	500	190	2974	2498	1600	2415	387	632	510	352	300	129	516	280	309	88
2УЦ-550	1360—1900	550	209	2554	1634	1755	2196	141	695	560	377	350	141	283	225	120	47
3УЦ-550	2040—2850	550	209	3032	2146	1755	2514	283	695	560	377	350	141	424	280	254	71
4УЦ-550	2720—3800	550	209	3174	2706	1755	2588	425	695	560	377	350	141	566	315	353	94
2УЦ-600	1620—2260	600	228	2732	1791	1910	2261	154	757	610	402	400	154	308	225	145	49
3УЦ-600	2430—3350	600	228	3222	2401	1910	2674	308	757	610	402	400	154	462	315	292	74
4УЦ-600	3240—4520	600	228	3376	3011	1910	2750	462	757	610	402	400	154	616	355	407	98
2УЦ-650	1900—2660	650	247	2907	1947	2065	2416	166	820	660	427	450	166	333	250	165	51
3УЦ-650	2850—3990	650	247	3410	2608	2065	2835	333	820	660	427	450	166	499	315	327	77
4УЦ-650	3800—5320	650	247	3577	3268	2065	2918	500	820	660	427	450	166	666	355	456	102
2УЦ-700	2200—3100	700	266	3085	2103	2220	2571	179	882	710	452	500	179	358	280	186	60
3УЦ-700	3300—4650	700	266	3600	2814	2220	2997	358	882	710	452	500	179	537	355	376	90
4УЦ-700	4400—6200	700	266	3719	3524	2220	3085	537	882	710	452	500	179	716	400	519	120

Примечание. 1. В циклонах 2УЦ вместо шнека устанавливают шлюзовые затворы ШУ-6 под каждым циклоном. 2. Стоимость дана с улитками или коллектором. 3. Диаметр *П* рассчитывают по расходу и скорости воздуха 10 м/с.

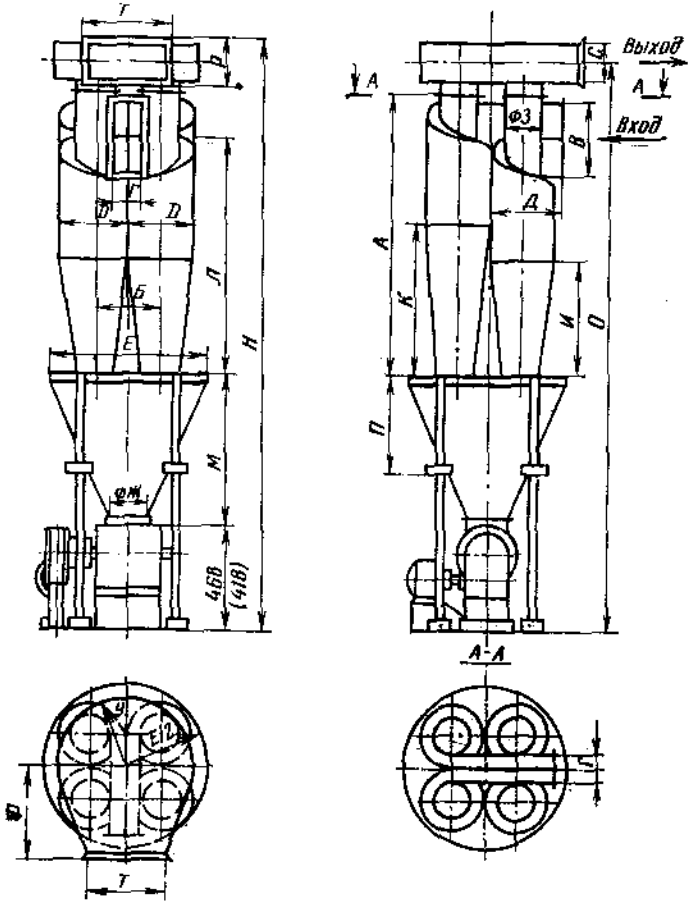


Рис. 57. Батарейный циклон 4-БЦШ.

Расчет и подбор всасывающего фильтра к сети проводят следующим образом.

По расходу воздуха и по допустимой нагрузке на ткань определяют необходимую фильтрующую поверхность (в м²) из формулы

$$S_{\Phi} = \frac{Q_{\Phi}}{Q_{уд}}, \qquad (78)$$

где Q_{Φ} — расход воздуха, поступающего в фильтр, м³/ч. Принимается из таблицы 19 с учетом 5% подсоса в воздухопроводах и 150 м³/ч через шлюзовой затвор батарейных циклонов; S_{Φ} —

необходимая фильтрующая поверхность, м²; $Q_{уд}$ — удельная нагрузка на ткань фильтра. Допускается до 90...120 м³/ч·м² в фильтрах Г4-1БФМ, с продувкой фильтровальной ткани атмосферным воздухом, до 400 м³/ч·м² — *при импульсной продувке* сжатым воздухом в фильтрах А1-БФЭ.

По найденной поверхности $S_Ф$ принимают из таблицы 24 и рисунка 59 ближайший фильтр Г4-1БФМ с фильтрующей поверхностью, равной или близкой к расчетной. Затем определяют действительную удельную нагрузку на ткань

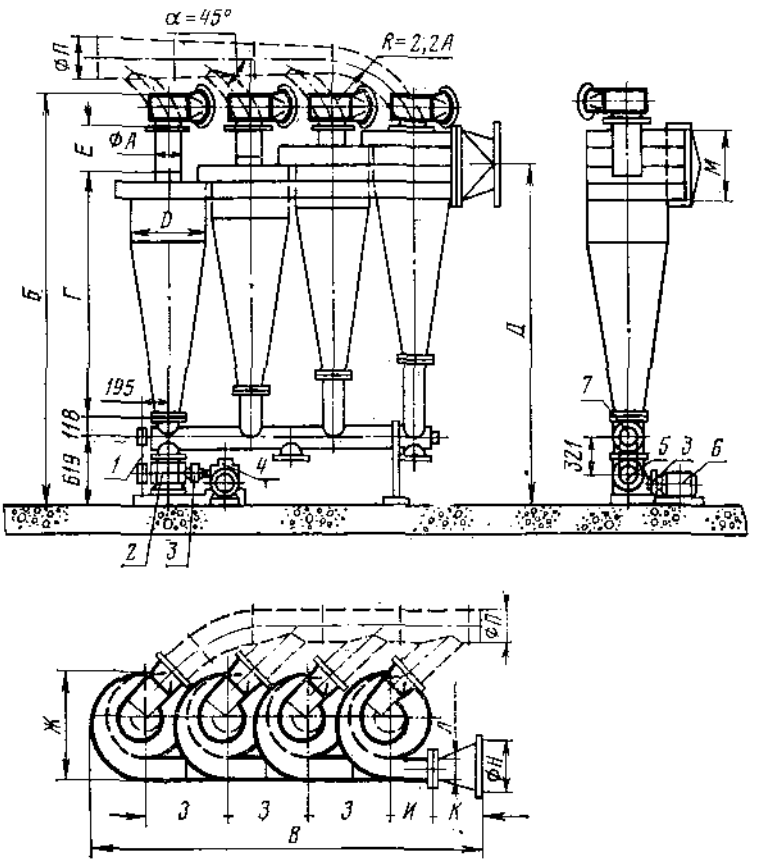


Рис. 58. Батарейный циклон УЦ с однорядным расположением:
1 — цепь втулочно-роликовая; *2* — шлюзовой затвор ШУ-15; *3* — муфта; *4* — редуктор РЧ-1 (i=1 : 40); *5* — звездочка (z=20, t=19,05); *6* — электродвигатель (ω=0,6 кВт, n=1410 об/мин); *7* — звездочка (z=15, t=19,05).

$$Q'_{уд} = \frac{Q_ф}{S'_ф},$$

где $S'_ф$ — действительная площадь фильтрующей поверхности принятого фильтра, м².

По действительной удельной нагрузке на ткань $Q'_{уд}$ определяют сопротивление фильтра, используя формулу (53) по номограмме (см. рис. 46) или по графику (см. рис. 47).

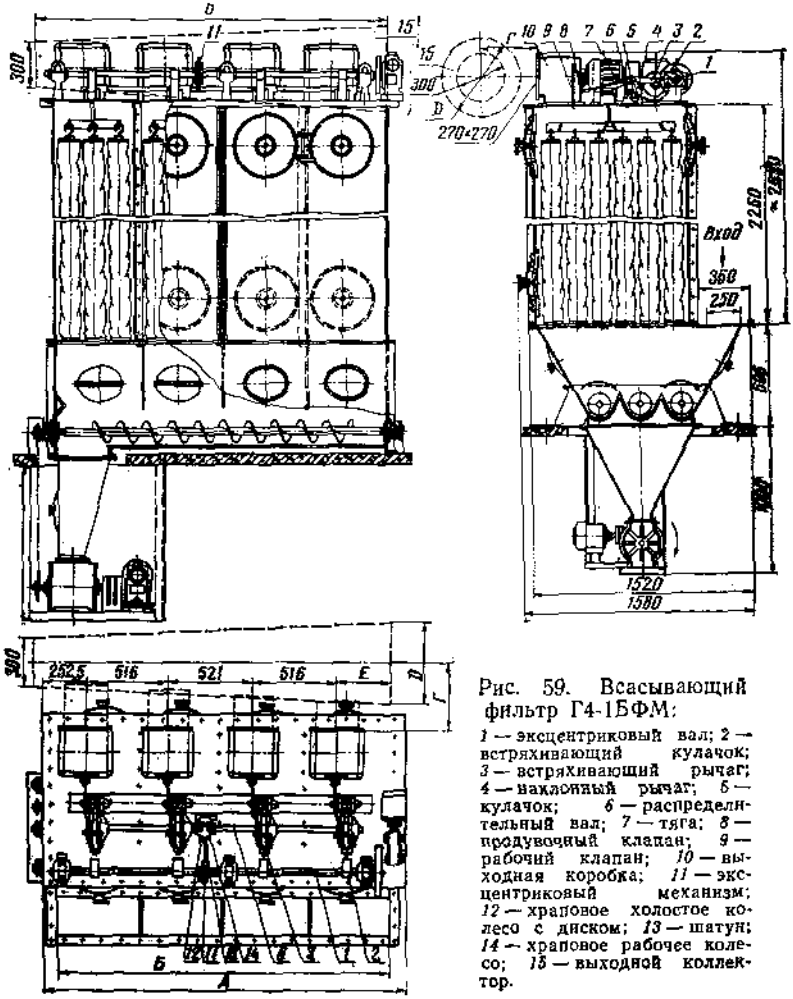


Рис. 59. Всасывающий фильтр Г4-1БФМ:

1 — эксцентриковый вал; *2* — встряхивающий кулачок; *3* — встряхивающий рычаг; *4* — наклонный рычаг; *5* — кулачок; *6* — распределительный вал; *7* — тяга; *8* — продувочный клапан; *9* — рабочий клапан; *10* — выходная коробка; *11* — эксцентриковый механизм; *12* — храповое холостое колесо с диском; *13* — шатун; *14* — храповое рабочее колесо; *15* — выходной коллектор.

Таблица 24. **Техническая характеристика всасывающих фильтров Г4-1БФМ** (см. рис. 59)

Фильтр	Число секций	Фильтрующая площадь, м²	Число рукавов	Размеры, мм							Масса (без коллектора), кг	Цена, руб.
				А	*Б*	*В*	*Г*	*Д*	*Е*	*Ж*		
Г4-1БФМ-30	2	30	36	1670	1205	1034	300	400	1215	350	1100	545
Г4-1БФМ-45	3	45	54	2200	1720	1550	350	500	1730	350	1400	690
Г4-1БФМ-60	4	60	72	2700	2240	2070	400	560	2245	350	1650	845
Г4-1БФМ-90	6	90	108	3750	3275	3104	450	710	3170	300	2220	1140

В каждом фильтре применено два одинаковых электродвигателя 4АХ-71А$_4$ (мощность 0,55 кВт, n=1370 об/мин). Один электродвигатель применен для привода продувочно-встряхивающего механизма, второй — для привода шлюзового затвора.

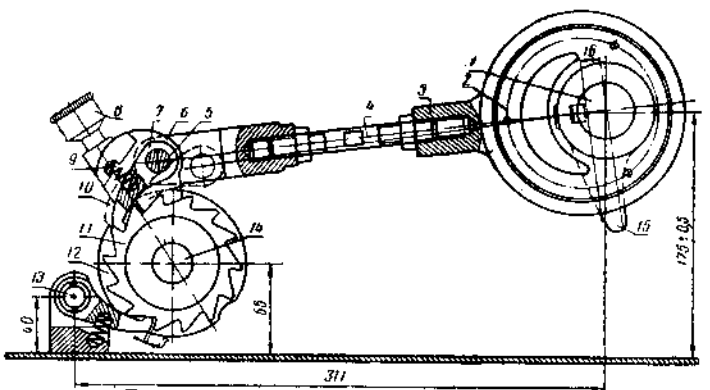
Допустимое разряжение внутри фильтра не более 3000 Па.

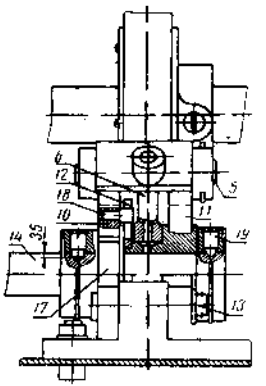
Продолжительность встряхивания и продувки рукавов каждой секции 12...15 с. Высота подъема рукавов при встряхивании 40 мм. Число ударов встряхивающего механизма за цикл продувки семь. Интервал между циклами продувки и встряхивания 3—4 мин. Подсос воздуха в фильтре не более 10%.

Продувочно-встряхивающий механизм фильтра Г4-1БФМ (см. рис. 59) имеет эксцентриковый вал *1* с частотой вращения 29,3 об/мин, эксцентриситет 16 мм. Левый конец шатуна *13* эксцентрикового механизма *11* имеет форму вилки и шарниром соединен с кулисой, которая свободно колеблется на распределительном валу *6*. На этом же шарнире кулисы и шатуна *13* имеются две собачки храпового механизма.

Распределительный вал *6* находится в неподвижном состоянии и периодически поворачивается на один зуб рабочего храпового колеса *14* через семь колебаний кулисы. При этом холостое храповое колесо *12* повернется на семь зубьев.

Эксцентриково-храповой механизм (рис. 60) имеет два храповых колеса: холостое *11* с диском *12*, которые свободно поворачиваются на распределительном валу *14*, и рабочее храповое колесо *17*, которое жестко закреплено на распределительном валу и поворачивается вместе с ним.





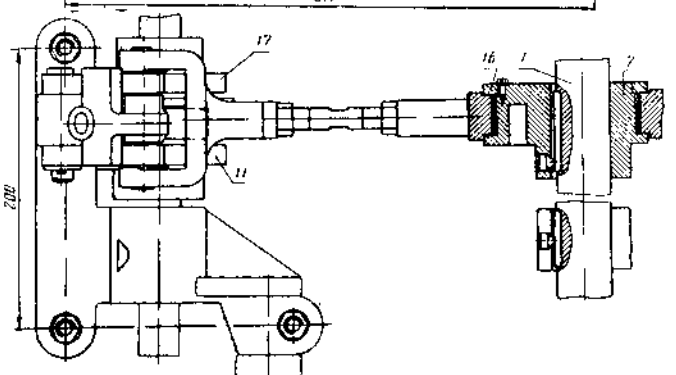


Рис. 60. Эксцентриково-храповой механизм фильтра Г4-1БФМ:

1 — эксцентриковый вал; *2* — эксцентриковая втулка; *3* — корпус шатуна; *4* — винт; *5* — ось собачек; *6* — кулиса; *7* — собачка холостого храпового колеса; *8* — масленка; *9* — пружина; *10* — собачка рабочего храпового колеса; *11* — холостое храповое колесо; *12* — диск; *13* — ось стопорной собачки; *14* — распределительный вал; *15* — встряхивающий кулачок; *16* — упорное кольцо; *17* — рабочее храповое колесо; *18* — палец диска; *19* — установочное кольцо.

Собачка *7* холостого храпового колеса *11* все время находится с ним в зацеплении и поворачивает храповое колесо с диском *12* на один зуб за один оборот эксцентрикового вала, т. е. за время $t_1=60/29{,}3=$ $=2{,}03$ с$\cong 2$ с.

Собачка *10* рабочего храпового колеса *17* имеет палец *18*, который скользит по диску *12* холостого храпового колеса *11* и держит собачку в приподнятом положении.

На окружности диска вырезаны два паза, расположенные под углом 180°, в которые входит палец *18* собачки рабочего колеса.

При этом собачка поворачивает рабочее храповое колесо *17* и распределительный вал *14* на один зуб, т. е. на угол $360/14=26°$.

После поворота распределительного вала и рабочего храпового колеса на один зуб палец *18* выходит из паза диска *12*, а собачка *10* выходит из зацепления с храповым рабочим колесом *17*.

Время, когда распределительный вал *14* с рабочим храповым колесом *17* будут неподвижны, равно числу колебаний собачки и повороту холостого храпового колеса на шесть зубьев, т. е. $t_2=6\cdot 2=12$ с.

Полный оборот распределительный вал совершит за время (в с):

$$t_\text{о}=t_\text{с}+t_\text{д}=196,$$

где $t_\text{с}$ — время, когда распределительный вал неподвижен; $t_\text{с}=t_2z=12\cdot 14=168$ с; $t_\text{д}$ — время движения распределительного вала за один цикл; $t_\text{д}=t_1z=2\cdot 14=28$.

На распределительном валу *6* закреплен кулачок *5* (см. рис. 59), который поворачивает наклонный рычаг *4* вправо. При повороте рычага *4* вправо тяга *7* открывает продувочный клапан *8*, закрывает рабочий клапан *9*, перемещает вправо встряхивающий рычаг *3*. При этом происходит встряхивание секции рукавов кулачком *2* и продувка рукавов атмосферным воздухом при отключенной секции от вентилятора клапаном *9*.

Продолжительность продувки и встряхивания равна времени выстоя распределительного вала $t_2=12$ с.

Продувка и встряхивание прекращаются, когда рабочее храповое колесо *17* с распределительным валом *14* (см. рис. 60) и кулачком *5* (см. рис. 59) повернутся на один зубец, что позволит наклонному ры-

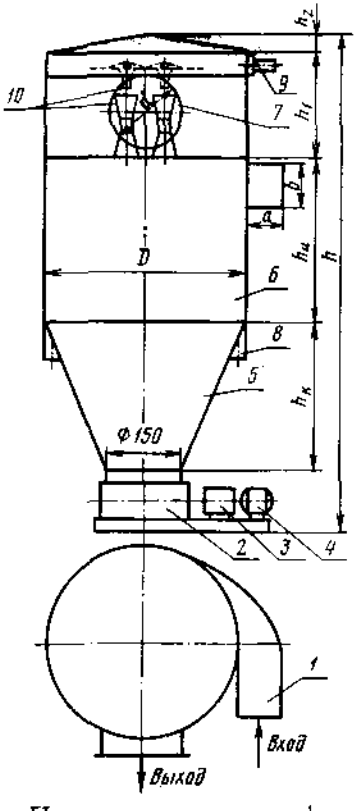


Рис. 61. Всасывающий фильтр с импульсной продувкой рукавов А1-БФЭ:

1 — входной патрубок; *2* — шлюзовой затвор; *3* — редуктор; *4* — электродвигатель; *5* — конус корпуса; *6* — цилиндр корпуса; *7* — выходной патрубок; *8* — опоры; *9* — штуцер для подвода давления продувки; *10* — сопло.

чагу *4* под действием пружин отклониться влево в исходное положение.

Всасывающий фильтр А1-БФЭ с импульсной продувкой фильтровальных рукавов сжатым воздухом подбирают по таблице 25 и рисунку 61.

Диаметр фильтровальных рукавов 120 мм, длина 1800 мм. Установочная мощность электродвигателей (без компрессора) 1,1; 1,52; 1,88; 2,48 и 2,9 кВт. С учетом компрессора газодувной машины от 3,5 до 5 кВт.

Подсос воздуха в фильтре не более 7%. Расход сжатого воздуха на продувку рукавов 25 м³ на 1000 м³ (2,5%).

Удельную нагрузку на ткань принимают до 420 м³/ч·м² в аспирационных установках и до 300... 350 м³/ч·м² в пневмотранспортных установках.

Сопротивление фильтрата $H_ф$=1500...1600 Па в аспирационных сетях и 1200...1350 Па в пневмотранспортных.

Допустимое разряжение в фильтре не более 3000 Па в аспирационных сетях и не более 20 000 Па в пневмотранспортных.

Продолжительность импульса продувки рукава 0,3...0,7 с. Интервал между продувкой каждого рукава 3...5 с. Всасывающие фильтры Г4-1БФМ и А1-БФЭ выпускают по ГОСТ 7715—80.

Таблица 25. **Техническая характеристика всасывающего фильтра с импульсной продувкой А1-БФЭ** (рис. 61)

Типоразмер	Число рукавов	Фильтрующая поверхность, м²	Расход воздуха, м³/ч	Размеры, мм									Масса, кг
				D	h	$h_к$	$h_ц$	h_1	h_2	a	b	d	
1	8	5,2	2 000	750	3745	700	1812	747	130	155	335	330	405
2	16	10,4	4 000	1000	4237	1157	1812	747	165	245	425	400	610
3	24	15,6	6 000	1115	4447	1347	1812	747	185	245	605	500	725
4	36	23,4	9 000	1340	4752	1627	1812	747	210	335	665	550	950
5	48	31,2	12 000	1550	4990	1845	1812	747	230	425	695	680	1180

В аспирационных сетях с рециркуляцией подбирают мокрые пылеотделители — фильтры У1-БФА с водяной завесой.

В сетях с кондиционированием воздуха применяют воздушно-водяные кондиционеры.

Разработаны автоматические мокрые фильтры с водяной завесой, создаваемой лопастным колесом (рис. 62). Мокрые фильтры У1-БФА и У1-БФА-01 устроены одинаково, однако имеют разную ширину и производительность 7200 и 11 000 м³/ч. Длина 1660 мм и высота 2115 мм одинаковы при ширине 1000 мм и 1400 мм.

Мощность электродвигателей для привода лопастного колеса — 0,75 и 1,1 кВт. Частота вращения лопастного колеса *6* 450 об/мин при ∅ 300 мм. Загрязненную воду сливают в канализацию через 4 ч автоматически и заполняют через душ *4* за 5—10 мин. Уровень воды в ванне *5* поддерживается поплавковым клапаном *18*. Во время слива воды водяная завеса создается душем *4*.

Сопротивление фильтров $H_ф$=236 Па. Коэффициент очистки 80%. Расход воды 1 л/100 м³. Увлажнение воздуха 1,5 г/м³.

Недостаток мокрых фильтров с водяной завесой — повышенное увлажнение воздуха, которое может вызывать конденсацию водяных паров в рабочих помещениях, что недопустимо. Для устранения этого недостатка нужно уменьшать относительную влажность воздуха, прошедшего через мокрый фильтр с водяной

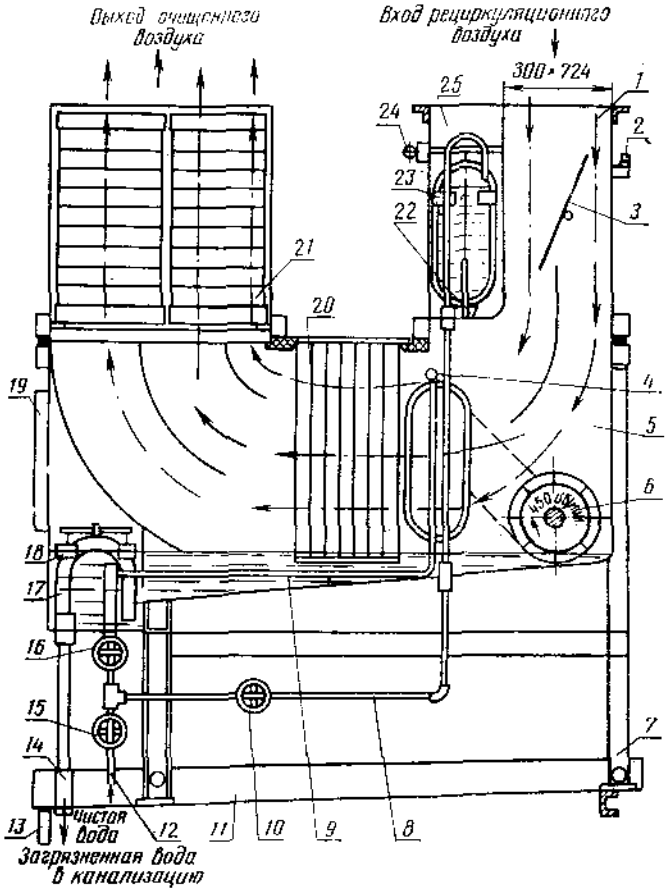


Рис. 62. Мокрый фильтр с водяной завесой У1-БФА:

1 — приемная коробка; *2* — штуцер; *3* — дроссель; *4* — душ; *5* — ванна; *6* — разбрызгивающее колесо; *7* — станина; *8* — труба водоснабжения доливочного бачка; *9* — труба душа; *10* — вентиль бачка; *11* — поддон с закрываемым сливом; *12* — система водоснабжения; *13* — слив поддона; *14* — канализационная труба; *15* — вентиль водоснабжения; *16* — вентиль душа; *17* — сифон сливной; *18* — поплавковый клапан; *19* — люк; *20* — мокрый сепаратор; *21* — сухой сепаратор; *22* — клапан доливочного бачка; *23* — поплавки бачка; *24* — магнитная защелка; *25* — доливочный бачок.

завесой, посредством смешивания его с наружным воздухом и подогревом в калориферах или можно применить после мокрых фильтров У1-БФА приточную вентиляционную малогабаритную камеру типа МПК-40 (рис. 63). Производительность приточной вентиляцион-

ной камеры МПК-40 40 000 м³/ч при небольших размерах. Камера состоит из приемного утепленного клапана *2*, который устанавливают снаружи здания за стеной *1*. Через проем в стене здания наружный воздух входит в очистительную секцию *4* камеры, где очищается от пыли при прохождении через фильтровальный материал — упругое стекловолокно толщиной 40 мм. Фильтровальный материал закреплен в съемные рамки кассеты *5* размером 400×1450 мм. Фильтрующая площадь одной кассеты 0,58 м². Всего установлено восемь кассет. Общая фильтрующая площадь камеры 4,62 м². Кассеты установлены под углом $\alpha_1=30°$. Масса одной кассеты 11,5 кг. Начальное со-

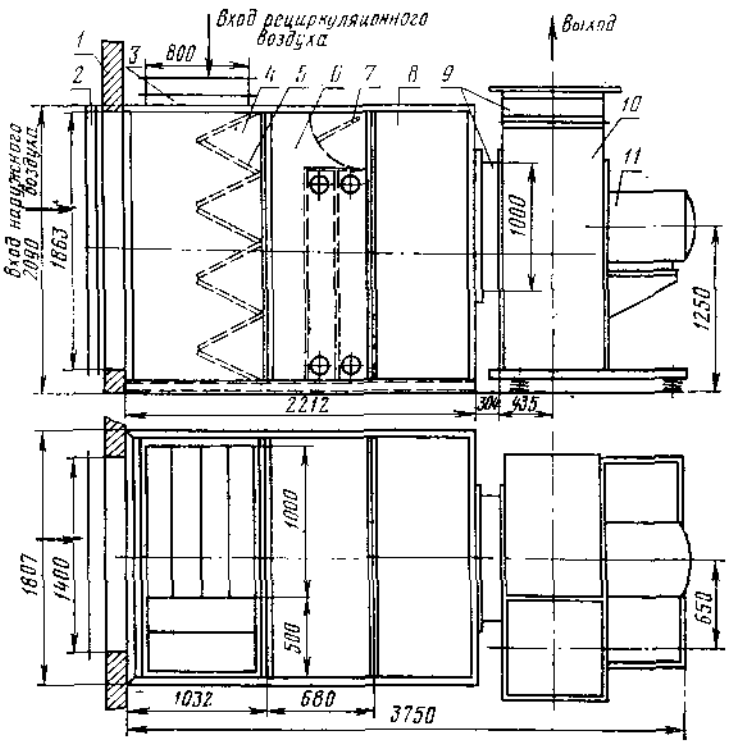


Рис. 63. Приточная вентиляционная камера:

1 — стена здания; *2* — приемный клапан; *3* — рециркуляционный клапан; *4* — очистительная секция; *5* — фильтровальная кассета; *6* — подогревательная секция; *7* — обводной клапан; *8* — секция обслуживания; *9* — гибкие вставки; *10* — вентилятор; *11* — электродвигатель.

противление кассеты 70 Па, конечное после запыления — 300 Па. Пылеемкость до 1200 г/м². Коэффициент очистки 80—85%. Замененные кассеты промывают в содовом растворе.

В верхней части очистительной секции камеры *3* предусмотрен рециркуляционный клапан *3*, который состоит из двух унифицированных воздушных заслонок размером 500×800 и 800×1000 мм для входа рециркуляционного воздуха.

Очищенный воздух поступает в подогревательную секцию *6*, которая имеет два водяных калорифера КС4 № 12, прикрепленных к стойкам камеры болтами. Сверху калориферов предусмотрен ручной обводной клапан *7*.

Общая теплоотдающая поверхность калориферов 272,4 м². Сопротивление калориферов 260 Па.

Очищенный и подогретый воздух поступает в секцию обслуживания *8*, откуда через мягкую вставку *9* в вентилятор *10*. Из вентилятора воздух подается в рабочие помещения.

Вентилятор *10* типа Ц4-70 № 10 первого исполнения имеет производительность 40 000 м³/ч, давление 1100 Па, частоту вращения 970 об/мин. Электродвигатель *11* типа А02-72-6 мощностью 22 кВт смонтирован на общей раме с вентилятором на виброопорах.

Основание камеры из швеллера № 8 ГОСТ 8240—72. Стойки камеры из алюминиевого профиля. Стенки камеры из асбестоцементных листов толщиной 8 мм. Швы уплотняются резиновым шнуром, уложенным в пазы профиля. Листы ограждения запираются рейками, имеющими выступы, входящие в пазы стоек.

Для обслуживания кассет с фильтрами и калорифером в стенках камер предусмотрены два быстросъемных щита.

Внутри корпуса предусмотрена установка двух светильников для выполнения профилактических и ремонтных работ.

Габаритные размеры: *длина* — 3750 мм, *ширина* — 1970, высота — 2340 мм. Масса камеры 2200 кг. Производительность 40 000 м³/ч.

Приточные камеры можно применять как без рециркуляции только на притоке наружного воздуха, так и с рециркуляцией. В случае применения камеры только на притоке наружного воздуха рециркуляционный

клапан *3* закрывают листом. При работе камеры с рециркуляцией наружный воздух смешивают с рециркуляционным воздухом и подогревают.

В этом случае рециркуляционный воздух должен быть очищен во всасывающем и в мокром фильтре. Продолжительность работы камеры без очистки фильтровальных элементов при запыленности рециркуляционного воздуха 2 мг/м^3 79 ч.

Недостатком приточных камер этого типа является неудобство очистки фильтровальных кассет в содовом растворе. Целесообразнее очищать кассеты обратной продувкой воздухом.

После подбора пылеотделителей к сети вписывают в пояснительную записку их габаритные размеры, размеры входного и выходного отверстий, место их установки и сопротивление. Эти данные используют при дальнейшем проектировании.

Находят на чертежах общего вида цеха (лист № 1) места установки циклонов, фильтров и рециркуляционных аппаратов, намечают главные оси пылеотделителя и оси входных и выходных отверстий.

Фильтры и батарейные циклоны со шлюзовыми затворами устанавливают в цехе на свободных местах ближе к аспирируемому оборудованию с учетом удаления осажденной пыли самотеком в сборные бункера для пыли или в подъемно-транспортное оборудование (нории, шнеки, пневмоприемники).

Для удобства обслуживания фильтров необходимо оставлять проходы: со стороны люков — 1—1,2 м, остальные с двух сторон — по 0,8—0,7 м и с четвертой стороны, где не требуется обслуживания,— 0,5 м.

Циклоны разрешается устанавливать у самых стен здания. Всасывающие фильтры следует устанавливать так, чтобы шкаф фильтра с люками для обслуживания рукавов был расположен к окнам здания.

Фильтры и циклоны не следует устанавливать против окон. Лучше их устанавливать в простенках между окнами или в середине здания между колоннами.

При расстановке пылеотделителей следует учитывать, что всасывающие фильтры 1БФМ на выходе пыли имеют бункер со шлюзовым затвором, который монтируют на нижнем этаже.

Выходной коллектор *15* (см. рис. 59) можно располагать выходным отверстием вправо или влево.

При проектировании вентиляционных установок в подземных приемных галереях, на нижних первых этажах зданий устанавливать фильтры и батарейные циклоны на свободных местах в этих помещениях не *представляется возможным, так как осажденная пыль* может быть удалена только пневмотранспортом, что удорожает стоимость установки. В этих случаях пылеотделители устанавливают в специальных помещениях, предусматриваемых в разрыве между рабочей башней и силосным корпусом элеватора или на специальных этажах рабочей башни элеватора.

В некоторых случаях устанавливают циклоны без шлюзового затвора снаружи зданий, применяя сети нагнетательного типа.

После окончательного выбора места установки пылеотделителей вычерчивают их на листе № 1 на плане и разрезах в масштабе 1 : 50.

§ 6. Предварительный подбор вентилятора к сети и место его установки

Предварительный подбор вентилятора и место его установки проводят для того, чтобы запроектировать трассу воздухопроводов на чертежах общего вида цеха (лист № 1).

Предварительно вентилятор к сети подбирают по расходу воздуха и ориентировочному давлению вентилятора.

Расход воздуха в сети $Q_{\text{сети}}$, перемещаемый вентилятором $Q_{\text{в}}$, определяют с учетом полезного расхода $Q^{\text{п}}_{\text{сети}}$ и подсосов воздуха в сети, т. е.

$$Q_{\text{в}} = Q^{\text{п}}_{\text{сети}} + Q_{\text{подс}},$$

где $Q^{\text{п}}_{\text{сети}} = \Sigma Q_{\text{м}}$ — полезный расход воздуха в сети (в м³/ч) принимают из таблицы 17; $Q_{\text{подс}}$ — подсосы воздуха в сети зависят от типа сети и подобранных пылеотделителей.

В общем случае

$$Q_{\text{подс}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4, \qquad (79)$$

где Q_1 — подсос воздуха в воздухопроводах принимают ориентировочно 5% от полезного расхода ΣQ (в м) или определяют расчетом 0,15 на 1 м длины воздухопровода, т. е. (в м³/ч):

$$Q_l = \frac{0{,}15l}{100} \Sigma Q_{\text{м}};$$

Q_2 — подсос в батарейном циклоне со шлюзовым затвором принимают 150 м³/ч; Q_3 — подсос во всасывающих фильтрах принимают 10% в фильтрах Г4-1БФМ и 7% в фильтрах АП-БФЭ; Q_4 — подсос воздуха через клапаны воздухопроводов, которые отключают аспирацию, принимают 100 м³/ч на каждый клапан.

Ориентировочное давление вентилятора, равное ориентировочному сопротивлению сети, принимают от 1600 до 1800 Па в зависимости от типа сети и сопротивления принятых пылеотделителей.

По найденному расходу воздуха $Q_в = Q_{сети}$ (в м³/ч) и ориентировочному давлению вентилятора $H^{ор}_в = 1800$ Па по характеристикам из приложения 8 предварительно подбирают вентилятор с максимальным КПД и наименьшим номером. Вентиляторы ВЦП развивают давление до 2000 Па. Если же в сети потребуется большее давление, то принимают вентиляторы ЦП7-40, которые развивают давление до 4000 Па. На очищенном воздухе можно использовать вентиляторы общего назначения Ц4-70 или Ц9-57, если они дают более высокий КПД, чем пылевые вентиляторы.

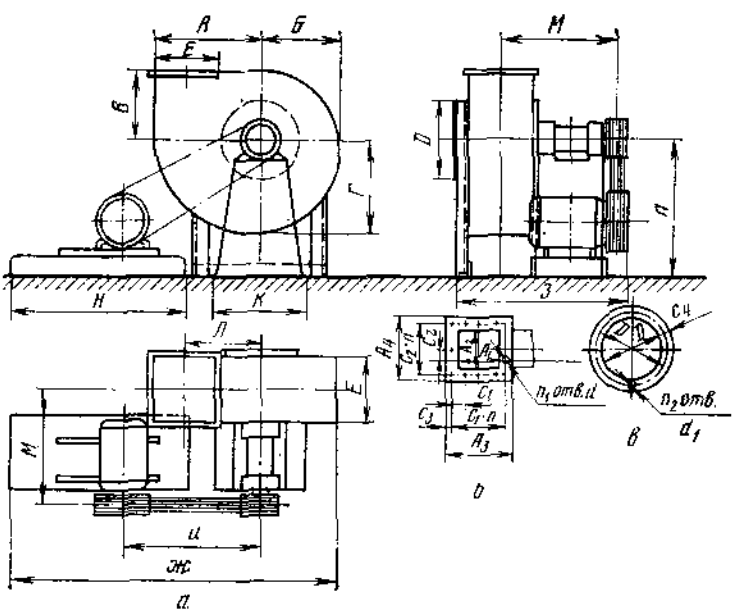


Рис. 64. Центробежный пылевой вентилятор ВЦП с приводом:
а — общий вид; *б* — фланец выходного патрубка; *в* — фланец входного патрубка (см. табл. 26).

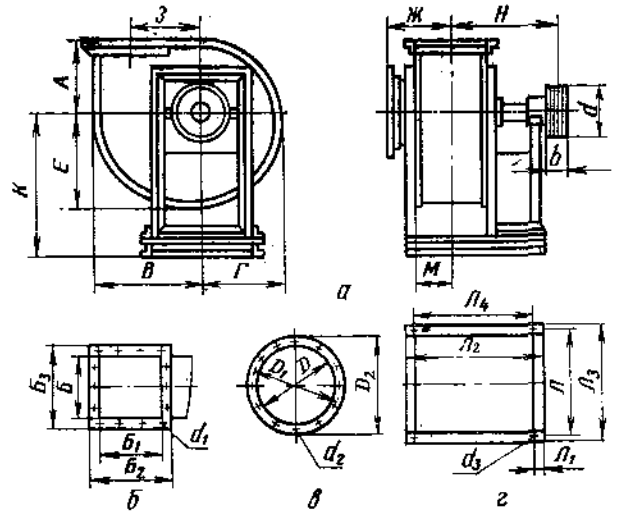


Рис. 65. Центробежный пылевой вентилятор ЦП7-40: а — общий вид; б — фланец выходного патрубка; в — фланец входного патрубка; г — основание станины (см. табл. 27).

Общий вид вентилятора ВЦП с приводом показан на рисунке 64, размеры даны в таблице 26. Вентилятор ЦП7-40 показан на рисунке 65, его размеры—в таблице 27.

Габаритные размеры выбранного вентилятора с приводом, диаметр входного отверстия и размеры выходного отверстия записывают в пояснительную записку для использования на следующих этапах проектирования.

Комплектация вентиляторов ВЦП и ЦП7-40 электродвигателями, шкивами и клиновыми ремнями приведена в приложениях 9 и 10.

Место установки вентилятора выбирают с учетом удобства обслуживания и упрощения трассы воздухопроводов. Вентилятор с электродвигателем устанавливают в рабочих помещениях на полу ближе к аспирируемым машинам с наибольшим сопротивлением и ближе к фильтру или циклону.

Проходы для обслуживания вентилятора принимают такие же, как у фильтра. Наибольший размер прохода принимают со стороны привода.

Таблица 26. **Размеры вентиляторов ВЦП** (Ц6-46) **с приводом** (см. рис. 64)

Номер вентилятора	Размеры вентилятора, мм													Размеры фланца патрубка, мм			
														выходного			
	А	*Б*	*В*	*Г*	*Е*	*Ж*	*З*	*И*	*К*	*Л*	*М*	*Н*	*П*	A_1	A_2	A_3	A_4
4	402	302	252	352	240	1400	650	576—678	325	280	429	720	450	241	240	294	294
5	502	378	306	440	300	1600	775	700—789	425	350	550	840	640	302	300	365	355
6	602	452	377	527	360	1700	840	714—789	425	420	581	870	640	352	360	436	436
8	802	602	502	702	480	2000	1150	926—973	500	560	794	1000	900	476	480	566	567

Продолжение

Номер вентилятора	Размеры фланца патрубка, мм											Уголок основания станины	Шкив вентилятора		Масса вентилятора без привода, кг	Оптовая цена, руб.
	выходного						входного						диаметр, мм	число канавок типа, Б		
	C_1	C_2	C_3	*d*	*n*	n_1	*D*	D_1	C_4	d_1	n_2					
4	68	65	11	8	4	16	260	308	20	6,5	8	40×40×5	140	2	85	90
5	65	68	13	10	4	20	350	384	25	6,5	8	50×50×5	180	4	150	136
6	81	81	15,5	10	5	20	420	460	30	8	12	60×60×6	180	4	174	147
8	88	89	16	13	6	24	565	610	35	11	12	80×80×6	200	6	387	263

Примечания. 1. Вентиляторы могут быть изготовлены правые и левые, с выхлопом воздуха вверх, вниз и влево.
2. Размер Ж дан для ремней длиной 1800 мм (ВЦП-4), 2240 мм (ВЦП-5 и ВЦП-6) и 2800 мм (ВЦП-8).

Таблица 27. **Размеры центробежных пылевых вентиляторов ЦП7-40 № 5, 6, 8** (см. рис. 65)

Номер вентилятора	Размеры, мм														Размеры шкива, мм	
	А	*В*	*Г*	*Е*	*Ж*	*З*	*К*	*Л*	$Л_1$	$Л_2$	$Л_3$	$Л_4$	*М*	*Н*	*d*	*b*
5	300	405	338	376	250	250	550	490	80	660	530	500	128	500	180	156
6	350	486	405	450	300	300	620	570	74	744	610	600	170	560	230	144
8	475	644	535	595	400	400	820	710	58	1048	760	900	227	774	315	198

Продолжение

Номер вентилятора	Размеры фланца патрубка, мм										Основание станины		
	выходного					число отверстий	входного				число отверстий	$Л_3$	швеллер
	Б	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	d_1		*D*	D_1	D_2	d_2			
5	308	305	370	368	9	14	307	342	367	9	12	18	№ 10
6	370	366	432	430	9	16	367	402	427	9	12	18	№ 10
8	492	488	578	572	12	22	487	530	567	12	16	20	№ 12

Примечание. Вентиляторы правого вращения изготавливают с положениями кожуха *Л, БЛ, Б, ВП, П, НП*, вентиляторы левого вращения — с положениями кожуха *П, ВП, В, ВЛ, Л, НЛ*.

При длинных трассах главной магистрали вентилятор *устанавливают в ее середине, а не в конце, для* того, чтобы иметь параллельные участки сети, уменьшить сопротивление и сэкономить энергию.

После выбора места установки на чертежах общего вида (лист № 1) намечают оси входного и выходного отверстий вентилятора, проводят трассу в осях. После утверждения трассы воздухопроводов в осях консультантом *вычерчивают вентиляторы, пылеотделители* и воздухопроводы на чертежах (лист № 1) в масштабе 1 : 50 в разрезе и плане.

§ 7. Проектирование трассы воздухопроводов

Трассу воздухопроводов начинают проектировать с конфузоров (пылеприемников) аспирируемого оборудования.

Размеры и форму конфузоров (пылеприемников) аспирируемого оборудования, входящего в аспирационную сеть, записывают в пояснительную записку и вычерчивают на листе № 3 в масштабе 1 : 10 и на листе № 1 в масштабе 1 : 50.

Для некоторых видов аспирируемого оборудования имеется несколько способов устройства аспирации. Поэтому необходимо выбрать и принять оптимальный способ с учетом проектного задания.

Если в задании на курсовой проект предусмотрена разработка устройства аспирации какой-либо машины, то целесообразно начать выполнение этого задания и вычертить аспирацию данной машины с конфузором на листе № 3 в масштабе 1 : 5 или 1 : 10 в трех проекциях.

После этого перечерчивают разработанную аспирацию данной машины на лист № 1 в масштабе 1 : 50.

Устройство аспирации оборудования, форму и размеры конфузоров (пылеприемников) принимают из учебной литературы.

Проектирование конфузоров. Общий вид конфузора (пылеприемника) с разверткой показан на рисунке 66. Форма входного широкого сечения конфузора прямоугольная со сторонами a и b. На поверхностях перехода с прямоугольного сечения на круглое показывают ребра тонкими линиями из углов прямоугольника к центру.

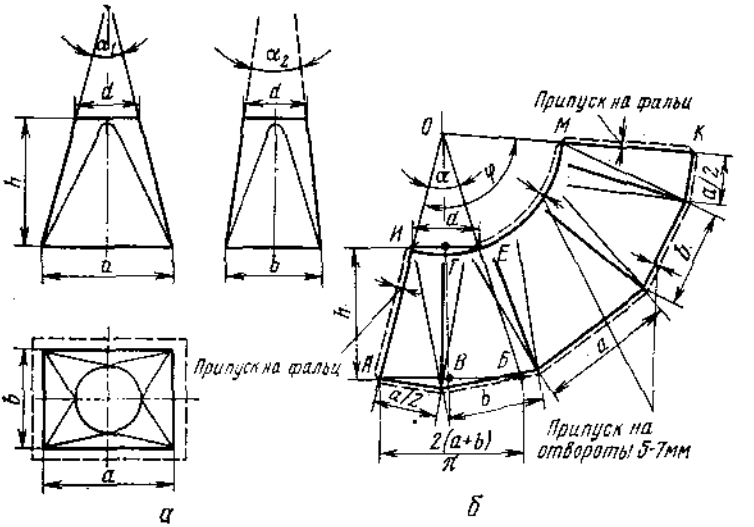


Рис. 66. Конфузор с переходом прямоугольного сечения на круглое:
а — общий вид; *б* — развертка.

Размеры конфузора рассчитывают следующим образом. Определяют площадь входного отверстия конфузора (в м²), из формулы

$$S_{вх} = \frac{Q_м}{v_{вх}},$$

где $Q_м$ — расход воздуха на аспирацию данной машины по нормам из приложения 5 или таблицы 17, м³/с; $v_{вх}$ — скорость воздуха во входном отверстии конфузора принимают на зерне 2 м/с, на муке 0,8 и на комбикормах 0,5 м/с.

Если форма отверстия для аспирации оборудования круглая, то находят диаметр конфузора (в м) в широком сечении по формуле

$$D_{вх} = \sqrt{\frac{4S_{вх}}{\pi}}.$$

При прямоугольной форме конфузора на входе принимают один из размеров *а* (ширину или длину), по конструктивным соображениям, например, равным размеру аспирируемой машины.

Вторую сторону прямоугольника конфузора (в м) находят по формуле

$$b = \frac{S_{вх}}{a}.$$

Высоту конфузора $h_к$ определяют из формулы (62), принимая оптимальный угол α равным от 45° до 60°.

Высоту конфузора при малых углах сужения α принимают конструктивно равную диаметру воздухопровода D, т. е. $h_к = D$.

Диаметр узкого сечения конфузора (в мм), равный диаметру воздухопровода, рассчитывают по формуле

$$D = 19\sqrt{\frac{Q}{v}}, \qquad (80)$$

где Q — расход воздуха м³/ч; v — скорость воздуха в воздухопроводе, м/с (принимают на запыленном воздухе от 12 до 15 м/с).

Диаметр, полученный расчетом по формуле (80) при скорости $v = 12$ м/с, округляют в минус до *нормированного диаметра*.

Диаметр воздухопровода можно определять по номограмме (см. рис. 44), соединяя линейкой расход воздуха со скоростью воздуха, которую принимают вначале 12 м/с. При этом на шкале находят нормированный диаметр.

Нормированные диаметры на шкале (см. рис. 44) выделены длинными рисками. Приняв ближайший меньший нормированный диаметр, соединяют его с расходом воздуха Q и находят скорость воздуха v, которая будет больше 12 м/с.

Диаметр воздухопровода можно также находить по расчетной таблице (см. приложение 4) следующим образом: в первой графе слева принимают скорость $v = 12$ м/с и по горизонтали вправо находят заданный расход воздуха Q, который может оказаться равным заданному расходу, больше или меньше его. Найденный расход соответствует нормированному диаметру, который указан в таблице.

Если при найденном нормированном диаметре и заданном расходе воздуха скорость окажется меньше 12 м/с, принимают следующий меньший диаметр и уточняют скорость воздуха, которая будет больше 12 м/с при заданном расходе.

Диффузоры проектируют так же, как и конфузоры, принимая скорость воздуха в широком сечении 5 м/с.

После того как вычерчены конфузоры аспирируемого оборудования на планах и разрезах установки на листе № 1 в масштабе 1 : 50, намечают в осях трассу воздухопроводов. Вначале проводят вертикальные оси воздухопроводов от каждого конфузора, намечают, на какой высоте от пола проектировать отводы и проводить оси горизонтальных воздухопроводов. Если запыленный воздух после оборудования поступает в батарейные циклоны, то оси горизонтальных воздухопроводов намечают на высоте входного отверстия батарейного циклона, если эта высота удовлетворяет требованиям техники безопасности, т. е. не меньше 2200 мм. Для этого на чертеже (лист № 1) откладывают размеры *Л* и *М*, принимая их из рисунка 57.

Если воздух поступает в фильтр, то высоту от пола горизонтальных воздухопроводов принимают максимально возможной, чтобы воздухопроводы проходили выше окон и не затемняли помещения. В этом случае оси горизонтальных воздухопроводов проводят при балочных перекрытиях ниже балок на расстоянии $x=D_{max}/2+100$ мм, где D_{max} — наибольший диаметр воздухопровода, рассчитанный по формуле (80) на общий расход воздуха в сети, взятый из таблицы 17; 100 мм — монтажный зазор между воздухопроводом и балкой.

Проектирование отводов. Проектирование отвода с углом $\alpha=90°$ показано на рисунке 67, с углом $\alpha=45°$ — на рисунке 68. Отвод проектируют следующим образом: проводят вспомогательные прямые линии *1—1* и *2—2*, параллельные осям воздухопроводов на расстоянии радиуса отвода $R_0=2D$, где D — диаметр воздухопровода. Точка пересечения *О* вспомогательных прямых является центром отвода. Восстанавливают из точки *О* перпендикуляры к осям воздухопровода, на продолжениях вспомогательных прямых *1—1* и *2—2* находят положение фланцев отвода. Отвод с углом $\alpha=90°$ изготавливают из семи звеньев, пять средних звеньев по 15° и два крайних по 7,5°.

Изготавливают также отводы из ленты, которая завивается по винтовой линии и соединяется фальцевым швом. Таким же способом из ленты изготавливают иногда прямые воздухопроводы.

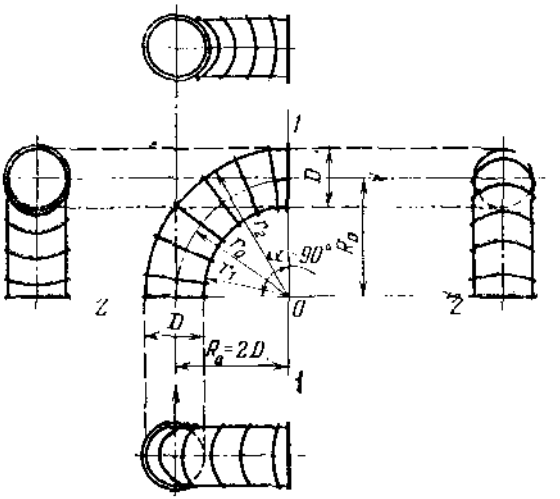


Рис. 67. Отвод из звеньев с углом α 90°.

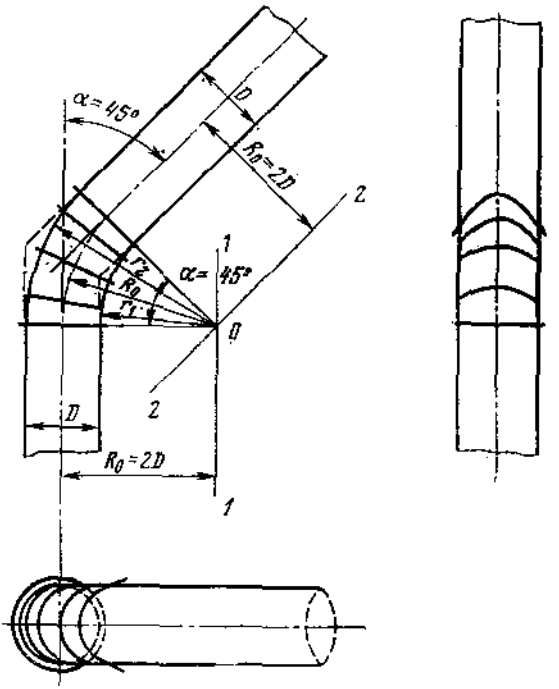


Рис. 68. Отвод из звеньев с углом α 45°.

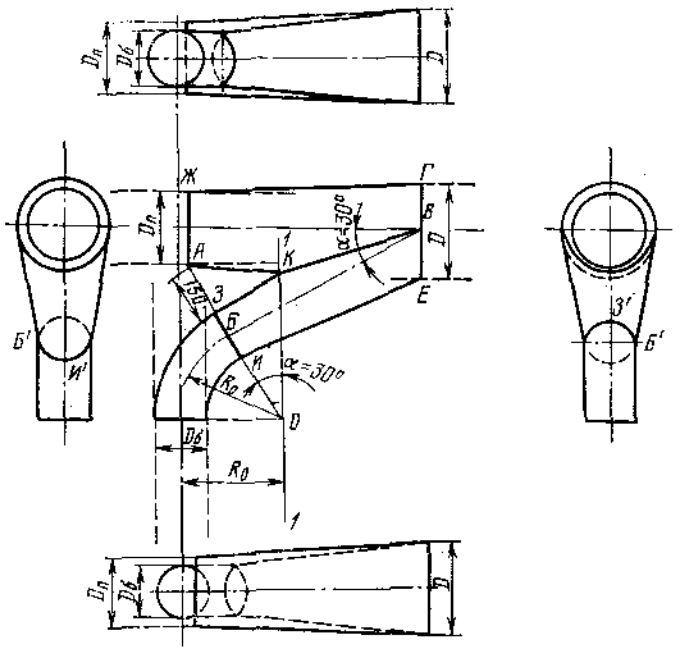


Рис. 69. Тройник с отводом.

Существует также новый способ изготовления отводов без звеньев штамповкой двух его половин, которые соединяются фальцевыми швами по внутреннему и наружному радиусам отвода.

Проектирование тройников. На рисунке 69 показано проектирование тройника с отводом. Проводят вспомогательную прямую *1—1*, параллельную оси бокового потока, на расстоянии радиуса отвода $R_0=2D_б$, где $D_б$ — диаметр бокового воздухопровода; по осям бокового и проходного потока откладывают диаметры проходного $D_п$ и бокового $D_б$ воздухопроводов и обозначают их пунктирными линиями. Рассчитывают длину (в мм) вспомогательного отрезка $OA=R_0+D_б/2+$ $+150$ мм$=2{,}5D_б+150$ мм, где 150 мм — расстояние между фланцами бокового и проходного участка тройника. Перемещают отрезок *OA* под углом тройника $\alpha=30°$ к вспомогательной прямой *1—1* так, чтобы точка *O* была на прямой *1—1*, а точка *A* — на нижней линии диаметра проходного воздухопровода.

Точка *А* дает место расположения фланца *АЖ* проходного воздухопровода тройника. Точка *О* дает место расположения фланца *ИЗ* бокового потока тройника.

Из точки *Б* отрезка *ОА* восстанавливают перпендикуляр и проводят осевую линию бокового участка тройника до пересечения с осью проходного потока под углом $\alpha=30°$ в точке *В*. Точка *В* дает расположение фланца *ЕГ* объединенного потока тройника диаметром *D*.

Соединяя прямыми точки *ЖГ*, *АЕ*, *ЗГ* и *ИЕ*, получают тройник — пересечение двух усеченных конусов.

Точка пересечения *К* двух усеченных конусов, соединенная прямой с центром пересечения осей точкой *В*, дает реечный фальцевый шов *КВ* тройника.

При проектировании трассы воздухопроводов руководствуются следующими указаниями:

воздухопроводы проводят по кратчайшему пути с наименьшим количеством отводов, параллельно и перпендикулярно стенам и балкам, избегая косых длинных воздухопроводов, которые нарушают симметрию и ухудшают промышленную эстетику;

вначале объединяют между собой тройниками воздухопроводы наиболее удаленных от вентилятора машин с малыми расходами воздуха и сопротивлениями, а затем подсоединяют их к машинам с повышенным расходом воздуха и сопротивлением; при одинаковых расходах воздуха и сопротивлениях применяют симметричные тройники и крестовины, которые упрощают трассу;

для уменьшения сопротивления сети и экономии электроэнергии проектируют параллельные ветви вместо последовательного объединения аспирируемых машин; при этом учитывают, чтобы сумма сопротивлений на последовательных участках сети до фильтра была бы достаточной для эффективной продувки ткани не менее 750 Па;

горизонтальные воздухопроводы проводят выше окон под потолком на одном уровне, чтобы не затемнять помещений и не ухудшать промышленную эстетику, при этом минимальную высоту от пола до выступающих частей воздухопроводов принимают не менее 2,2 м;

горизонтальные воздухопроводы, особенно малого диаметра, для надежной эксплуатации заменяют на-

клонными под углом 60° к горизонту; это делают везде, где не ухудшается эстетика производства;

вертикальные воздухопроводы проводят не против окон, а в простенках, ближе к стенам или в середине здания рядом с колоннами и балками так, чтобы воздухопроводы не пересекали проходы места обслуживания машин и не затемняли помещения;

не разрешается пересекать воздухопроводами балки, колонны, машины и другое оборудование; как исключение допускают пересечение бункеров для зерна, но в этом случае увеличивают толщину стенок воздухопровода или делают специальные шахты;

не рекомендуется проводить воздухопроводы, по которым перемещается теплый воздух, вне помещений или через холодные помещения во избежание конденсации;

при проектировании трассы стремятся применять минимальное число типоразмеров элементов установки с учетом типовых конструкций, изготовляемых на заводах или в специальных мастерских, например, берут стандартные диаметры воздухопроводов; радиус отводов принимают $R_0=2D$ и только при недостатке места допускаются радиусы $R_0=1{,}5D$ или $R_0=D$; углы тройников берут $\alpha=30°$. При недостатке места принимаются большие углы в тройниках ($\alpha=45°$ или $\alpha=60°$).

После проведения трассы воздухопроводов в осях на листе № 1 и утверждения ее консультантом вычерчивают трассу в воздухопроводах в масштабе 1 : 50, как это показано, например, на рисунках 70 и 71, или утолщенной линией.

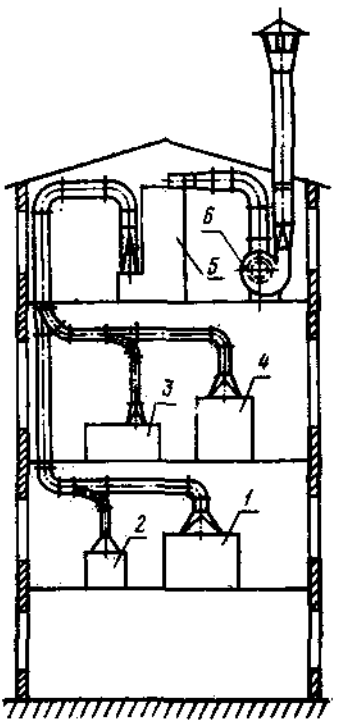


Рис. 70. Вентиляционная установка зерноочистительного отделения мукомольного завода:

1, 2, 3, 4 — аспирируемое оборудование; *5* — всасывающий фильтр; *6* — вентилятор.

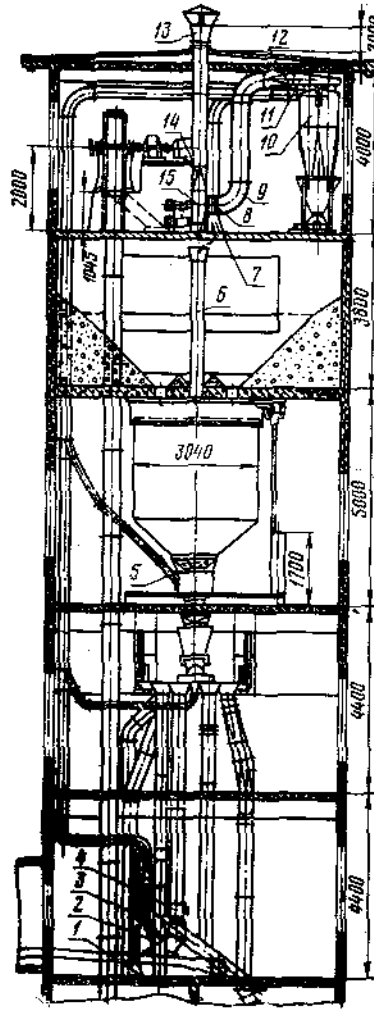


Рис. 71. Вентиляционная установка верхних этажей башни элеватора:

1 — конфузор надсепараторного бункера; *2* — конфузор насыпного лотка; *3* — аспирационный клапан; *4* — зерновой клапан; *5* — конфузор выпуска весов; *6* — воздухопровод весового ковша; *7* — конфузор надвесового бункера; *8* — конфузор; *9* — отвод; *10* — батарейный циклон; *11* — выходная коробка; *12* — конфузор; *13* — диффузор с защитным зонтом; *14* — диффузор; *15* — вентилятор.

Вычерчивание трассы воздухопроводов в диаметрах необходимо для определения длин прямых участков воздухопроводов и характеристик местных сопротивлений (отводов, тройников), которые необходимы для расчета, изготовления и монтажа сети.

Диаметры воздухопроводов после тройников рассчитывают по формуле (80), где расход воздуха равен сумме расходов в проходном и боковом потоках.

Фланцевое соединение воздухопроводов показано на рисунке 72, а фальцевые соединения — на рисунке 73.

Фланцы изготавливают обычно из полосовой стали, шириной 25 мм, толщиной 4 мм или из уголка 25×25×3 мм. Фланцы из полосовой стали удерживаются на отбортовке кромок воздухопровода, для чего предусматривают припуск 5...7 мм. Между фланцами устанавливают резиновые или картонные (на сурике) прокладки толщиной 4 мм.

На чертежах (лист № 1) в масштабе 1 : 50 фланцевые соединения показывают одной утолщенной линией. Фальцевые соединения не вычерчивают.

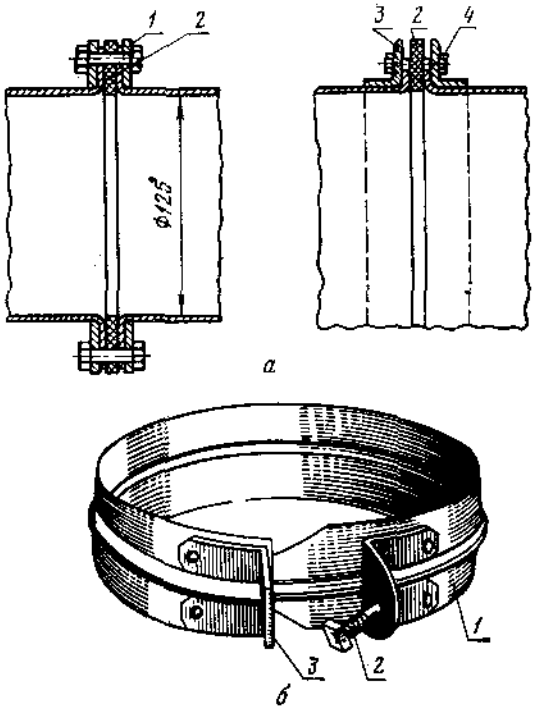


Рис. 72. Соединения воздухопроводов:
а — фланцевое соединение: *1* — полосовая сталь; *2* — прокладка; *3* — уголковая сталь; *4* — болт М6×20; *б* — манжетное соединение: *1* — манжетное кольцо; *2* — болт; *3* — стойка.

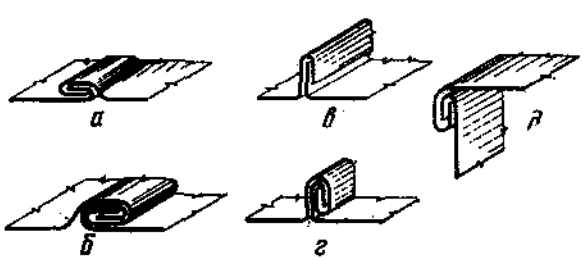


Рис. 73. Виды фальцев:
а — одинарный лежачий; *б* — двойной лежачий; *в* — одинарный стоячий; *г* — двойной стоячий; *д* — одинарный угловой.

Таблица 28. **Размеры** (мм) **входных коробок ЦАГИ** (см. рис. 74)

Вентилятор	Д	А	Б	В	Г	Е	Ж	З	И	К	п
ВЦП-3	210	160,0	210	320	587	325	382	276	3	430	12
ВЦП-4	280	210,0	280	420	750	420	482	342	20	560	14
ВЦП-5	350	262,5	350	525	925	525	587	412	38	700	16
ВЦП-6	420	315,0	420	630	1100	630	692	482	55	840	20
ВЦП-8	560	420,0	560	840	1450	840	902	622	90	1120	20
Ц4-70 № 8	720	540,0	720	1080	1850	1080	1142	782	130	1440	20

Иногда вместо фланцевых соединений применяют манжетные соединения (см. рис. 72, *б*). Преимущество манжетных соединений перед фланцевыми — быстрота разборки при очистке воздухопроводов. Недостаток — малая жесткость.

Воздухопровод подсоединяют к входному отверстию вентилятора посредством конфузора или диффузора в зависимости от размеров диаметров воздухопровода и

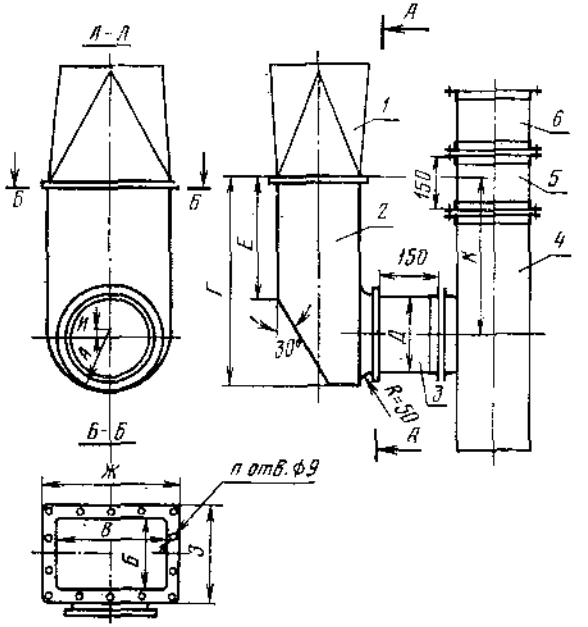


Рис. 74. Соединение воздухопровода с вентилятором через коробку ЦАГИ:

1 — переход; *2* — коробка ЦАГИ; *3* и *5* — гибкие вставки; *4* — вентилятор; *6* — клапан.

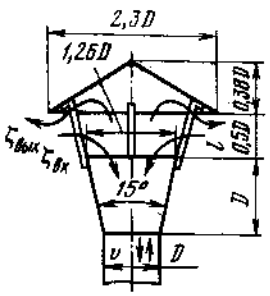


Рис. 75. Диффузор на выхлопе с защитным *зонтом*.

входного патрубка вентилятора. Длину конфузора или диффузора принимают равной диаметру воздухопровода. Перед входом в вентилятор проектируют отвод (см. рис. 71 и 80).

В тех случаях, когда в помещении нет места для конфузора и отвода, применяют коробку ЦАГИ (рис. 74). Размеры коробок ЦАГИ приведены в таблице 28.

Мягкие вставки *3* и *5* (рис. 74) устанавливают для уменьшения вибраций и шума. При отсутствии мягкой вставки *3* на входе фланец коробки ЦАГИ соединяют с фланцем входного отверстия вентилятора. Коэффициент сопротивления коробки ЦАГИ принимают $\zeta = 0{,}27$.

На выходе из вентилятора вместо мягкой вставки *5* и клапана *6* проектируют диффузор с переходом с квадрата на круг (см. рис. 71 и 80).

Вместо автоматического клапана *6* на выходе из вентилятора (рис. 74) проектируют задвижку *53* на входе в вентилятор (см. рис. 80).

На выхлопе воздуха в атмосферу устанавливают диффузор с защитным зонтом (см. рис. 75).

§ 8. Расчет вентиляционной сети

Расчет вентиляционной сети состоит из расчетной схемы, расчетной таблицы и пояснений к расчету. В расчет сети также входит окончательный подбор вентилятора, расчет мощности для привода вентилятора и подбор электродвигателя.

При расчете сети определяют:

диаметры воздухопроводов на всех участках сети из условий экономичности и эксплуатационной надежности работы установки по формуле (80);

потери давления на каждом участке по формуле (49);

сопротивление сети, равное общим потерям давления в сети по главной магистрали $\Sigma H_{\text{пт.гл.м}}$ по формуле

$$H_{\text{сети}} = \Sigma H_{\text{пт.гл.м}} = H_{\text{м}_1} + \Sigma H_{\text{пт}} + H_{\text{п}} + H_{\text{вых}} + H_{\text{вак}}, \quad (81)$$

где $H_{\text{м}_1}$ — потери давления в аспирируемой машине первого участка главной магистрали, Па; $\Sigma H_{\text{пт}}$ – суммарные потери давления в воздухопроводах на участках главной магистрали, Па; $H_{\text{п}}$ — потери давления в пылеотделителе или в последовательно установленных пылеотделителях, Па; $H_{\text{вых}}$ — потери давления на выхлоп, Па; $H_{\text{вак}}$ — вакуум в рабочем помещении, Па;

выравнивают потери давления в тройниках на параллельных участках сети уменьшением диаметра и повышением скорости бокового участка или применением диафрагмы.

Для расчета вентиляционной сети необходимо знать место установки аспирируемого оборудования, вентилятора, пылеотделителей и расположение трассы воздухопроводов, т. е. нужно иметь проект общего вида вентиляционной установки (см. рис. 70 и 71).

Составление расчетной схемы и расчетной таблицы. Расчетную схему сети составляют с чертежа общего вида (см. рис. 70 и 71) на отдельном листе, пояснительной записки в карандаше от руки без соблюдения масштаба в виде развертки на плоскости или в аксонометрии.

Составлять расчетную схему начинают с изображения фильтра или циклона в нормальном положении. Далее показывают диффузор или конфузор на входе в фильтр или циклон в виде треугольника. Прямые воздухопроводы изображают линиями произвольной длины из условия заполнения листа. Отводы изображают дугами с соблюдением углов поворота. Направление поворота отводов может быть любое: вверх, вниз, вправо, влево, чтобы не допускать пересечения воздухопроводов.

На рисунке 76 приведена расчетная схема сети со всасывающим фильтром *5*, вентилятором *6*. Аспирируемые машины *1*, *2*, *3* и *4* обозначают прямоугольниками или показывают только конфузоры и записывают наименование аспирируемой машины.

На расчетную схему наносят все данные для расчета. Расходы воздуха и потери давления в аспирируемых машинах принимают из таблицы 17; длины прямых воздухопроводов замеряют на чертеже установки и умножают на масштаб.

После составления расчетной схемы и нанесения на нее всех данных составляют расчетную таблицу.

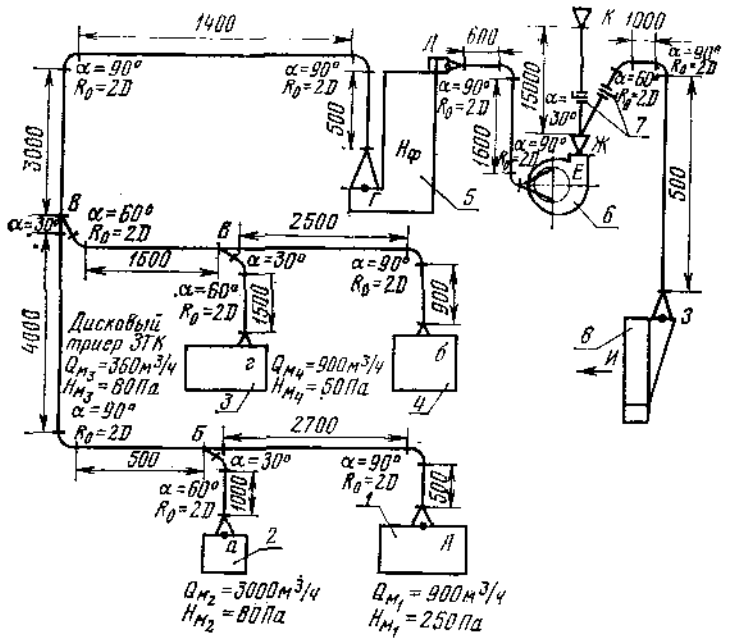


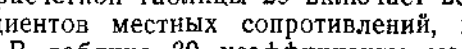
Рис. 76. Расчетная схема вентиляционной сети зерноочистительного отделения мукомольного завода:

1 — щеточная машина ЗШГ-10; *2* — магнитная колонка; *3* — дисковый триер ЗТК; *4* — автоматические весы Д-100; *5* — матерчатый всасывающий фильтр; *6* — вентилятор; *7* — задвижки; *8* — рециркуляционный аппарат.

Обычно расчет сети ведут по первому методу потерь давления на единицу длины воздухопровода по формуле (49)

$$H_{пт}=Rl+\Sigma\zeta\ \frac{\rho v^2}{2}.$$

Форму расчетной таблицы составляют на отдельном листе пояснительной записки рядом с расчетной схемой. Существует несколько форм расчетных таблиц. Форма расчетной таблицы 29 включает все параметры коэффициентов местных сопротивлений, и она более удобна. В таблице 30 коэффициенты местных сопротивлений записывают значками в графе 13 так:



Иногда составляют две отдельные формы расчетных таблиц: первая таблица включает двенадцать первых граф таблицы 29, вторая — состоит из перечня коэффициентов местных сопротивлений с 13 по 23 графу с добавлением графы количества местных сопротивлений на участках.

Пояснения к расчету сети и пример расчета. Разбивают сеть на участки, определяют главную магистраль и боковые параллельные участки сети. Участком называют часть сети с одинаковым расходом воздуха и с одинаковым характером сопротивления. Главной магистралью сети называют сумму последовательных участков по направлению движения воздуха, создающих максимальные потери давления. Все остальные участки сети называют боковыми, или ответвлениями (ветвями), так как они параллельны и не влияют на потери давления в сети.

За первый участок главной магистрали принимают участок, в котором наибольшие потери давления, т. е. принимают аспирируемую машину, наиболее удаленную от вентилятора или имеющую наибольшее сопротивление. В нашем случае (см. рис. 76) первый участок главной магистрали начинается от машины № 1, так как она имеет наибольшее сопротивление (250 Па) и наиболее удалена от вентилятора *6*. Начало и конец участка обозначают буквами русского алфавита: по главной магистрали — прописными, по боковым участкам — строчными или каждый участок обозначают номером.

Вентиляционная сеть, показанная на рисунке 76, запроектирована для работы по двум вариантам: на выброс в атмосферу очищенного в матерчатом фильтре *5* воздуха в неотапливаемый период года и на рециркуляцию через аппарат *8* в зимний период. Участки *главной магистрали после вентилятора выбирают по наибольшему* сопротивлению (в нашем случае это участки *ЖЗ—ЗИ*).

Таким образом, главная магистраль вентиляционной сети на этой схеме будет состоять из восьми участков: щеточная машина № 1, участки воздухопроводов *АБ—БВ—ВГ*, всасывающий фильтр *5* (участок *ГД*), участки воздухопроводов *ДЕ—ЖЗ* и рециркуляционный аппарат *8* (участок *ЗИ*). Остальные участки сети будут боковыми или параллельными.

Таблица 29. **Форма расчетной таблицы по методу определения потерь давления на единицу длины воздухопровода**

Номер или обозначение участка	Расход воздуха Q, м³/ч	Скорость воздуха v, м/с	Диаметр D, мм	Потери на 1 м воздухопровода R, Па/м	Длина l, м	Потери на длине Rl, Па	Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\zeta$	Динамическое давление $H_д$, Па	Потери на местные сопротивления $H_{м.с.}=\Sigma\zeta H_д$, Па	Потери на участке $H_{пт}=Rl+\Sigma\zeta H_д$, Па	Потери на главной магистрали $\Sigma H_{пт}$, Па	Коэффициенты местных сопротивлений										
												конфузоры и диффузоры			отводы и колена			тройники				
												n или h/d	α или φ		α, град	n или R_0	ζ	α, град	$S_п/S$	$S_б/S$	$Q_б/Q$	$\zeta_п$ и $\zeta_б$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23

Таблица 30. **Форма расчетной таблицы по второму варианту**

Обозначения участка или номер	Q, м³/ч	v, м/с	D, мм	R, Па/м	l, м	Rl, Па	$\Sigma\zeta$	$H_д$, Па	$H_{м.с}$, Па	$H_{пт}$, Па	$\Sigma H_{пт}$, Па	Коэффициенты местных сопротивлений
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Потери давления в параллельных участках не прибавляют к потерям по главной магистрали, а выравнивают между собой и с участком главной магистрали.

Примерный расчет вентиляционной сети. Расчетная схема вентиляционной сети, составленная из чертежей проекта (лист № 1), представлена на рисунке 76. Расчет потерь давления ведем по методу потерь давления на единицу длины. Расчетная формула (49). Результаты расчетов даны в таблице 31, которая составлена по форме таблицы 29. При заполнении расчетной таблицы в графе 1 перечисляем все участки главной магистрали, а внизу боковые участки.

В расчетной схеме сети (см. рис. 76) за первый участок главной магистрали принят участок *АБ* от щеточной машины ЗЩГ-10, которая наиболее удалена от вентилятора и имеет наибольшие потери давления.

Главная магистраль сети при работе на рециркуляцию состоит из семи последовательных участков: *АБ—БВ—ВГ—ГД—ДЕ—ЖЗ—ЗИ*. Потери давления на участке вентилятора *ЕЖ* в расчете не учитываем, так как они учтены коэффициентом полезного действия вентилятора.

Сеть имеет пять боковых участков, из них четыре (*аБ, бв, гв, вВ*) на всасывании и один (*ЖК*) на нагнетании, который включают при работе на выхлоп с отключением участков *ЖЗ—ЗИ*.

При расчете сети выравнивают потери давления на участках *аБ* и *АБ*, *бв* и *гв*, *АБ+БВ* и *бв+вВ*.

Потери давления на участках *ЖЗ+ЗИ* и *ЖК* рассчитываем без выравнивания; так как они работают с отключением на одинаковом расходе. При этом проверяем запас установленной мощности электродвигателя вентилятора при уменьшении его давления и КПД.

Участок *АБ*. Скорость движения воздуха на первом участке *АБ* главной магистрали принимают минимально надежно транспортирующую (12 м/с).

Из приложения 4 по расходу 900 м³/ч и скорости 12 м/с находят ближайший стандартный диаметр 160 мм.

Затем по расходу 900 м³/ч и диаметру 160 мм уточняют скорость интерполированием данных приложения 4 или рассчитывают по формуле

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{900}{3600 \cdot 0{,}0201} = 12{,}46 \text{ м/с}.$$

Эту скорость записываем в графу 3 таблицы 31.

Таблица 31. Результаты расчета вентиляционной сети

Обозначение участка	Q, м³/ч	v, м/с	D, мм	R, Па/м	l, м	Rl, Па	$\Sigma\zeta$	$H_д$, Па	$H_{м.с}$, Па	$H_{пт}$, Па	$\Sigma H_{пт}$, Па
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
А. Главная											
ОА	*Щеточная машина ЗЩГ-10*									250,0	250,0
АБ	900	12,46	160	12,00	4,3	51,8	0,49	95,8	46,6	98,4	348,4
БВ	1200	13,10	180	11,35	5,1	57,9	0,15	104,5	15,7	73,6	422,0
ВГ	2460	13,90	250	8,435	6,5	55,0	1,07	118,2	126,0	181,0	603,0
ГД	2580	Потери во всасывающем фильтре ФВ-30								750,0	1353,0
ДЕ	2970	10,60	315	3,76	4,2	15,8	0,52	68,6	35,7	51,5	1405,0
ЖЗ	2970	10,60	315	3,76	4,1	15,4	1,61	68,6	110,4	126,0	1531,0
ЗИ	2970										
Потери давления в рециркуляционном аппарате										150,0	1681,0
Итого сопротивление сети по главной магистрали											1681,0
Б. Боковые											
аа	*Магнитная колонка*									80,0	80,0
аБ	300	12,46	95	23,65	1,7	40,2	0,24	95,8	23,0	63,2	143,2
аБ	300	16,60	80	49,30	1,7	83,8	0,49	168,5	82,6	166,9	246,4
аБ	Сопротивление диафрагмы						0,61	168,5	102,0	102,0	348,4
об	Автоматические весы Д-100									50,0	50,0
бв	900	12,46	160	12,00	4,35	52,2	0,34	95,8	32,7	84,9	134,9
бв	900	16,00	140	22,70	4,35	98,7	0,44	156,8	69,0	167,7	217,7
ог	*Дисковый триер ЗТК*									80,0	80,0
гв	360	12,70	100	22,40	2,0	44,8	0,81	98,4	79,6	124,5	204,5
еВ	1260	13,80	180	12,50	1,6	20,0	0,50	116,5	58,3	78,3	295,95
вВ	1260	26,20	130	63,40	1,6	101,0	1,00	407,0	407,0	508,0	725,7
вВ	1260	17,60	160	23,10	1,6	37,0	0,90	189,0	170,1	207,1	424,8
ЖК	2970	10,60	315	3,76	15,0	56,4	1,51	68,6	103,6	160,0	1565,0
Итого сопротивление сети с учетом вакуума										50,0	1615,0

(см. рис. 76)

Коэффициенты местных сопротивлений										
конфузоры и диффузоры			отводы и колена			тройники				
n или h/D	α, град	ζ	α, град	n или R_0	ζ	α, град	$S_{п}/S$	$S_{б}/S$	$Q_{б}/Q$	$\zeta_{п}$ и $\zeta_{б}$
13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
магистраль										
1,0	90	0,19	90	2,0	0,15	30	0,8	0,3	0,25	0,15
—	—	—	90	2,0	0,15	30	0,5	0,5	0,5	0
8,0	90	0,766	90	2,0	2·0,15	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
1	30	2·0,11	90	2,0	2·0,15	—	—	—	—	—
2,4	25	0,91	60	2,0	0,12					
2,0	30	0,22	90	2,0	0,15	—	—	—	—	—
			30	0	0,21					
участки										
1	45	0,09	60	2,0	—	30	0,8	0,3	0,25	0,15
1	45	0,09	60	2,0	—	30	0,8	0,2	0,25	0,4
Диафрагма=27,2 мм, x=52,8 мм										
1	45	0,09	90	2,0	0,15	30	0,8	0,3	0,3	0,1
1	45	0,09	90	2,0	0,15	30	0,6	0,3	0,3	0,2
1	32	0,11	60	2,0	—	30	0,8	0,3	0,3	0,7
—	—	—	60	2,0	—	30	0,5	0,5	0,5	0,5
—	—	—	60	2,0	—	30	0,5	0,3	0,5	1,0
—	—	—	60	2,0	—	30	0,5	0,4	0,5	0,9
2,4	25	0,91	Зонт=0,6							

Динамическое давление приближенно можно определить по приложению 4 ($H_д$=95,8 Па) или точно по приложению 3 и по формуле (26), значение которого записывают в графу 9.

По диаметру 160 мм и скорости 12,46 м/с определяют потери давления R=12 Па/м, интерполируя при скоростях 12,4 и 12,6 м/с и записывают в графе 5.

При приближенных расчетах можно использовать номограмму (см. рис. 44). Соединив линейкой расход 900 м³/ч с желаемой скоростью 12 м/с, находят диаметр 163 мм. Далее, приняв ближайший меньший нормированный диаметр 160 мм, соединяют его с расходом 900 м³/ч и находят скорость 12,4 м/с, потери давления R=12,3 Па/м и $H_д$=94,8 Па.

Расчетная длина участка *АБ* состоит из длины прямиков, конфузора и отвода.

Длину конфузора находят из формулы (62):

$$l_к = \frac{b-D}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}},$$

где b — наибольший размер входного отверстия конфузора; принимаем b=1400 мм; α — угол сужения конфузора; α=45°, если позволяет высота этажа.

В примере ввиду больших размеров b и $l_к$ принят угол α=90°.

Тогда длина конфузора будет

$$l_к = \frac{1400-160}{2\operatorname{tg}\frac{90}{2}} = 620 \text{ мм}.$$

Длину отвода находят по формуле (52):

$$l_о = \frac{\pi n D}{180},$$

где α — угол отвода, град; n — отношение радиуса отвода к диаметру воздухопровода.

Длина отвода на участке *АБ* равна

$$l_о = \frac{3{,}14 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 160}{180} = 500 \text{ мм}.$$

Тогда расчетная длина участка *АБ* (гр. 6) будет l=620+500+500+2700=4320≅4,3 м.

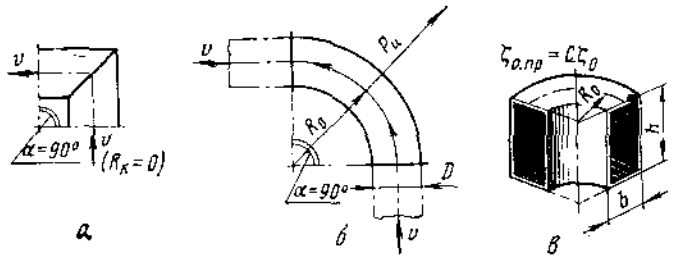


Рис. 77. Колено (*а*) отвод круглый (*б*), отвод квадратный (*в*).

Сумма коэффициентов местных сопротивлений участка *АБ* состоит из коэффициентов сопротивления конфузора, отвода и проходного участка тройника.

Таблица 32. **Круглое и квадратное колено** (рис. 77, *а*) **с острыми кромками** ($R_к=0$)

Трубы	α, град					
	15	30	45	60	75	90
Шероховатые	0,06	0,21	0,42	0,68	1,00	1,43
Гладкие	0,05	0,15	0,31	0,52	0,80	1,12

Коэффициент сопротивления конфузора $\zeta_к=0{,}19$ находят из таблицы 11 по углу $\alpha=90°$ и отношению $l_к/D=620/160>1{,}0$. Коэффициент сопротивления отвода $\zeta=0{,}15$ определяют при $R_0=2D$ и $\alpha=90°$ из таблицы 33 и рисунка 77, *б*.

Коэффициенты сопротивления в тройнике находят при выравнивании потерь давления в проходном участке *АБ* и в боковом *аБ*, решением уравнения равенства, полных давлений, т. е. $\Sigma H_{пт.б}=\Sigma H_{пт.п}$

$$H_м+\left(\frac{\alpha}{D_х}\,l+\Sigma\zeta\right)\frac{\rho v^2}{2}=\Sigma H_{пт.п}, \qquad (82)$$

где $H_м$ — потери давления в машине бокового участка, Па; l — расчетная длина бокового участка, м; $\Sigma\zeta$ — сумма коэффициентов местных сопротивлений бокового участка; $D_х$ и v — диаметр и скорость бокового участка, при которых потери давления в боковом участке $\Sigma H_{пт.б}$ получаются равными потерям давления в проходном участке $\Sigma H_{пт.п}$.

Таблица 33. **Круглый и квадратный гладкие отводы** (рис. 77, *б*), $R_0=nD$

α, град	$R_0=D-1$	1,5D	2,0D	2,5D	3,0D	6,0D	10,0D
7,5	0,028	0,021	0,018	0,016	0,014	0,010	0,008
15	0,058	0,044	0,037	0,033	0,029	0,021	0,016
30	0,11	0,081	0,069	0,061	0,054	0,038	0,030
60	0,18	0,14	0,12	0,10	0,091	0,064	0,051
90	0,23	0,18	0,15	0,13	0,12	0,083	0,066
120	0,27	0,20	0,17	0,16	0,13	0,10	0,076
150	0,30	0,22	0,19	0,17	0,15	0,11	0,084
180	0,33	0,25	0,21	0,18	0,16	0,12	0,092

Уравнение равенства полных давлений (82) решают методом интерполяции следующим образом: находят заведомо бо́льший диаметр бокового участка $D_б$ из отношения равенства скоростей в проходном и боковом участках при $v_б/v_м=1{,}0$. Затем рассчитывают при этом диаметре потери давления в проходном $\Sigma H_{пт.п}$ и боковом $\Sigma H_{пт.б.б}$ участках и находят разность между этими потерями при большем диаметре, т. е.

$$h_б=\Sigma H_{пт.б.б}-\Sigma H_{пт.п}<0.$$

После этого задают в боковом участке заведомо бо́льшую скорость и находят заведомо меньший диаметр $D_м$, руководствуясь следующей зависимостью.

$h_б$, Па	До 50	50—80	80—120	120—150	150—180	Свыше 180
$v_б/v_в$	1,3	1,4	1,5	1,7	1,9	2,0

Рассчитав потери давления в боковом участке $\Sigma H_{пт.б.м}$ при меньшем диаметре $D_м$, находят разность $h_м$ между потерями давления в боковом и проходном участках при меньшем диаметре

$$h_м=\Sigma H_{пт.б.м}-\Sigma H_{пт.п}>0.$$

Окончательный искомый диаметр бокового участка находят по формуле

$$D=D_м+h_м\frac{D_б-D_м}{h_м-h_б}. \qquad (83)$$

Таблица 34. **Отвод с прямоугольным сечением** (рис. 77, *а*, $R_0=nb$)

n/a	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25	1,50	1,75
c	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,68	0,53
n/b	2,0	2,5	3,0	—	—	—	—
c	0,47	0,40	0,40	—	—	—	—

Таблица 35. **Шероховатый отвод из звеньев круглого сечения** (рис. 77, *б*)

α, град	n	
	1,5	2
30	0,20	0,15
45	0,25	0,20
60	0,35	0,30
90	0,40	0,35

Сначала рассчитывают потери давления на участках *АБ* и *аБ* при одинаковых скоростях движения воздуха $v_б/v_п=1,0$; $v_б=v_п=12,46$ м/с. Диаметр бокового участка *аБ* определяют по расходу воздуха 300 м³/ч и скорости 12,46 м/с приближенно из номограммы (см. рис. 44), или из приложения 4, или точно по формуле (80). Этот предварительно найденный диаметр воздухопровода $D_б=95$ мм будет заведомо бóльшим, а потери давления при $R=23,65$ Па/м — заведомо меньшими.

Коэффициенты сопротивления тройника берут из таблицы 36 по отношению площадей $S_п/S=0,02/0,0254=0,8$; $S_б/S=0,0071/0,0254\cong0,3$ и расходов $Q_б/Q=300/1200=0,25$.

В данном случае $\xi_п=0,15$, $\xi_б=0,15$.

Высоту конфузора при оптимальном угле $\alpha=45°$ и наименьшем диаметре 80 мм находят из формулы (62):

$$h_к=\frac{b-D}{2\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}},$$

$$h_к = \frac{500 - 80}{2\operatorname{tg}\frac{45}{2}} = 500 \text{ мм},$$

где b — наибольший размер входного отверстия конфузора; $b = 500$ мм.

Коэффициент сопротивления конфузора по таблице 11 при $\alpha = 45°$ и $l_к/D \geqslant 1$ равен 0,09.

Длину отвода на участке $аБ$ вычисляют по формуле (52):

$$l_о = \frac{3{,}14 \cdot 60 \cdot 2 \cdot 80}{180} = 167 \text{ мм}.$$

Тогда расчетная длина участка $аБ$ будет $l = 500 + 1000 + 167 = 1667$ мм $\cong 1{,}7$ м.

Потери давления на участке $аБ$ при диаметре $D_б = 95$ мм получились равными $\Sigma H_{пт.б.б} = 143{,}2$ Па вместо требуемых в проходном участке $\Sigma H_{пт.п} = 348{,}4$ Па. Следовательно, разность потерь

$$h_б = \Sigma H_{пт.б.б} - \Sigma H_{пт.п} = 143{,}2 - 348{,}4 = -205{,}2 \text{ Па}.$$

Далее проводят повторный расчет потерь давления в боковом участке $аБ$ при минимальном диаметре $D_м = 80$ мм. Из приложения 4 по расходу воздуха 300 м³/ч и скорости 16,6 м/с находят $R = 49{,}3$ Па/м, $H_д = 168{,}5$ Па.

Из таблицы 36 по отношению $S_п/S = 0{,}8$; $S_б/S = 0{,}005/0{,}0254 \cong 0{,}2$ и $Q_б/Q = 0{,}25$ определяют коэффициент сопротивления тройника с отводом $\xi_б = 0{,}4$.

Суммарные потери давления при диаметре $D_м = 80$ мм будут $\Sigma H_{пт.б.м} = 246{,}4$ Па, что меньше требуемых 348,4 Па, т. е.

$$h_м = \Sigma H_{пт.б.м} - \Sigma H_{пт.п} = 246{,}4 - 348{,}4 = -102 \text{ Па}.$$

По формуле (83) необходимый диаметр бокового участка $аБ$ будет

$$D = 80 - 102\frac{95 - 80}{-102 + 205{,}2} = 65 \text{ мм}.$$

Диаметр воздухопровода меньше 80 мм не применяют, поэтому оставляют диаметр 80 мм, а на разность потерь $\Delta H = 348{,}4 - 246{,}4 = 102$ Па подбирают диаф-

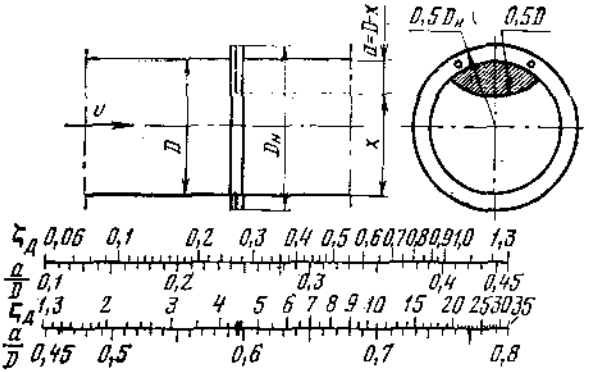


Рис. 78. Диафрагма односторонняя.

рагму по рисунку 78. Коэффициент сопротивления диафрагмы $\zeta_д = \Delta H / H_д = 102/168{,}5 = 0{,}61$.

По этому коэффициенту (рис. 78) определяют отношение $a/D = 0{,}347$. Откуда $a = 0{,}34 \cdot 80 = 27{,}2$ мм, $x = 80 - 27{,}2 = 52{,}8$ мм.

Пересчет потерь давления на участке *АБ* в результате уменьшения коэффициента сопротивления тройника не делают.

Участок *БВ*. Расход воздуха на этом участке равен сумме расходов на участках *АБ* и *аБ*, т. е. $Q = 900 + 300 = 1200$ м³/ч.

Скорость воздуха на участке *БВ* принимают не менее 12,46 м/с. По расходу 1200 м³/ч и скорости 12,46 м/с определяют ближайший нормированный диаметр, равный 180 мм, а затем уточняют скорость $v = 13{,}1$ м/с и находят $R = 11{,}35$ Па/м, $H_д = 104{,}5$ Па.

Длина отвода по формуле (52) будет

$$l_0 = \frac{3{,}14 \cdot 90 \cdot 2 \cdot 180}{180} \cong 600 \text{ мм}.$$

Расчетная длина участка *БВ* $l = 4500 + 600 = 5100$ мм $= 5{,}1$ м.

Коэффициенты местных сопротивлений в тройнике находят при выравнивании потерь давления на участках *БВ* и *вВ*. Вначале, перед выравниванием потерь давления на этих участках, рассчитывают предыдущие участки *бв* и *гв*.

Для участка *бв* из приложения 4 по расходу 900 м³/ч и скорости, которую принимают не менее 12 м/с, находят ближайший нормированный диаметр, равный 160 мм. Затем уточняют скорость движения воздуха (12,46 м/с) и находят $K=12$ Па/м, $H_д=95{,}8$ Па. Коэффициент сопротивления конфузора автоматических весов $\zeta_к=0{,}09$ определяют по размерам входного отверстия 150×500 мм и по углу сужения $\alpha=45°$. Высоту конфузора находят по формуле (62):

$$h_к=\frac{500-160}{2\operatorname{tg}\frac{45}{2}}=450 \text{ мм}.$$

Длина отвода будет (см. формулу 52):

$$l_о=\frac{3{,}14\cdot 90\cdot 2\cdot 160}{180}=500 \text{ мм}.$$

Тогда расчетная длина участка *бв* $l=450+900+500+2500=4350$ мм $=4{,}35$ м.

Участок *гв*. Диаметр бокового участка *гв*, равный 100 мм, находим из приложения 4 по расходу воздуха 360 м³/ч и скорости 12,7 м/с, при этом $R=22{,}4$ Па/м, $H_д=98{,}4$ Па.

Коэффициент сопротивления конфузора дискового триера находят по размерам конфузора. При $a=300$ мм и длине конфузора $b_к=350$ мм угол сужения будет

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{a-D}{2b_к}=\frac{300-100}{2\cdot 350}=0{,}286;\ \alpha=32°.$$

По таблице 11 коэффициент сопротивления конфузора $\zeta_к=0{,}11$. Коэффициенты сопротивления тройника на участках *бв* и *гв* принимают из таблицы 36 по отношению $S_п/S=0{,}02/0{,}0254=0{,}8$; $S_б/S=0{,}0078/0{,}0254=0{,}3$; $Q_б/Q=360/1260=0{,}3$ ($\zeta_п=0{,}1$, $\zeta_б=0{,}7$).

Эти значения записывают в таблицу 31 (гр. 20—23). Расчетная длина участка *гв* равна $l=350+1500+200=2050\cong 2{,}0$ м.

Суммарные потери в конце участка бв (гр. 12 табл. 31) равны 134,9 Па, а в конце участка *гв* — 204,5 Па. Разность в потерях давления составляет 204,5—134,9=69,6 Па, или 50%, что недопустимо. Поэтому необходимо выравнивание за счет уменьшения диаметра на участке *бв* со 160 до 140 мм. Для этого заполняют еще одну строку в таблице 31 для

участка *бв*. В этом случае получают суммарные потери в конце участка *бв* при ∅ 140 мм, которые составляют 217,7. Расхождение на 13,2 Па будет 6%, что допустимо.

Участок *вВ*. Расход воздуха на участке *вВ* равен сумме расходов на участке *бв* и *гв*, т. е. 900+ +360=1260 м³/ч. Скорость воздуха на участке *вВ* принимают не менее, чем на предыдущем участке *бв*.

Суммарные потери давления в конце участка *вВ* должны быть равны суммарным потерям в конце участка *БВ*.

По расходу 1260 м³/ч и скорости 13,1 м/с находят нормированный диаметр $D=180$ мм, скорость $v=13{,}8$ м/с, потери $R=12{,}5$ Па/м и $H_д=116{,}5$ Па.

Коэффициенты сопротивления тройника определяют из таблицы 36 по отношению

$$\frac{S_п}{S}=\frac{0{,}0254}{0{,}0491}\cong 0{,}5;\quad \frac{S_б}{S}=0{,}5;\quad \frac{Q_б}{Q}=\frac{1260}{2460}\cong 0{,}5$$

$$(\zeta_б=0{,}5 \text{ с отводом};\ \zeta_п=0).$$

Суммарные потери давления в конце участка *вВ* при ∅ 180 мм равны 295,95 Па, т. е. меньше, чем на участке *БВ*. Разность потерь составит $h_б=\Sigma H_{пт.б.б}-\Sigma H_{пт.п}=295{,}95-422=-126{,}05$ Па.

Второе отношение скоростей принимают $v_б/v_п=2$, $v_б=2\cdot 13{,}1=26{,}2$ м/с. По формуле (80) находят заведомо меньший диаметр $D_м=130$ мм.

Коэффициент сопротивления в тройнике определяют из таблицы 36 по отношению $S_п/S=0{,}0254/0{,}0491\cong$ $\cong 0{,}5$, $S_б/S=0{,}0133/0{,}0491=0{,}27$; $Q_б/Q=1260/2460=$ $=0{,}51$ ($\zeta_б=1{,}0$ с отводом).

Из приложения 4 потери $R=63{,}4$ Па/м. Потери при диаметре $D_м=130$ мм равны 725,7 Па. Разность потерь составляет $h_м=725{,}7-422=303{,}7$ Па.

Искомый диаметр бокового участка *вВ* находят по формуле (83):

$$D=D_м+h_м\frac{D_б-D_м}{h_м-h_б}=130+303{,}7\,\frac{180-130}{303{,}7-(-126{,}05)}=165 \text{ мм}.$$

Принимают ближайший нормированный диаметр 160 мм, так как он близок к расчетному.

Проверочным расчетом потерь на участке *вВ* при ∅ 160 мм убеждают, что принятый диаметр удовлетворяет допустимым расхождениям потерь. Суммарные

потери в графе 12 (табл. 31) на участке *вВ* равны 424,8 Па вместо 422 Па на участке *БВ*, т. е. расхождение 1,5%.

Участок *ВГ*. Расход воздуха на участке *ВГ* равен сумме расходов на участке *БВ* и *вВ*, т. е. 1200+ +1260=2460 м³/ч. По этому расходу и скорости 13,1 м/с из приложения 4 находят ближайший стандартный ∅ 250 мм. По диаметру и расходу воздуха 2460 м³/ч уточняют скорость (13,9 м/с), находят потери R=8,435 Па/м и динамическое давление $H_д$= =118,2 Па.

В расчетную длину участка (6,5 м) входит длина двух отводов по 90°.

Коэффициент сопротивления диффузора при входе во всасывающий фильтр 1БФМ=30 определяют по таблице 37 с учетом размеров фильтра, т. е. 1000× ×400 мм, степень расширения диффузора n=1× ×0,4/0,0495=8.

Ввиду того, что в таблице 37 нет диффузоров с $n>4$, то коэффициент сопротивления диффузора определяют по формуле коэффициента внезапного расширения

$$\zeta_д=(1-S_1/S_2)^2=(1-1/8)^2=0{,}766.$$

Суммарные потери в конце участка *ВГ* при входе в фильтр будут равны 603 Па. Проверяют по формуле (74), достаточны ли потери давления до фильтра для эффективного продувания ткани. Необходимый вакуум в фильтре будет

$$H_{вак}=363+2{,}6Q_{уд}=363+2{,}6\cdot 86{,}1=587 \text{ Па}.$$

В данном примере потери давления до фильтра равны 603 Па, т. е. больше необходимых 587 Па, что обеспечит эффективную очистку ткани.

Участок *ГД*. Потери давления во всасывающем фильтре 1БФМ-30 определяют по удельной нагрузке на ткань.

$$Q_{уд}=1{,}05\cdot 2460/30=86{,}1 \text{ м}^3/(\text{ч}\cdot\text{м}^2).$$

По графику (см. рис. 47) находят потери давления в фильтре $H_ф$=750 Па.

Участок *ДЕ*. Расход воздуха после фильтра находят с учетом подсоса в фильтре 15%, т. е.

$$Q=1{,}15\cdot 2583=2970 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Скорость воздуха после фильтра принимают не менее 10 м/с с учетом ближайшего стандартного диаметра. Из приложения 4 выбирают ∅ 315 мм, скорость 10,6 м/с, $R=3{,}76$ Па/м, $H_д=68{,}6$ Па.

Расчетная длина участка *ДЕ* включает длину двух отводов по 1000 мм.

В сумму коэффициентов местных сопротивлений входят сопротивления двух конфузоров (по 0,11), установленных при входе в вентилятор и при выходе из фильтра, и двух отводов по 0,15.

Суммарные потери давления в конце участка *ДЕ* при входе в вентилятор равны 1405 Па.

Участки *ЖЗ* и *ЖК*. Расход воздуха на этих участках равен расходу при входе в вентилятор, т. е. 2970 м³/ч. Диаметр воздухопровода на участке *ЖЗ* принимают равным диаметру до вентилятора, т. е. 315 мм.

В расчетную длину участка *ЖЗ* (4,1 м) входит длина тройника (1000 мм), который работает как колено, длина отвода 60° (660 мм) и длина отвода 90° (990 мм). В сумму коэффициентов местных сопротивлений на участке *ЖЗ* входят сопротивления двух диффузоров, колена с углом 30°, двух отводов с углами 60° и 90°.

На выходе из вентилятора установлен диффузор, коэффициент сопротивления которого находят из таблицы 37.

В данном примере степень расширения диффузора

$$n=S/a^2=0{,}779/(0{,}18)^2=2{,}4,$$

где a — размер выходного отверстия вентилятора № 3; $a=180$ мм.

Находят угол раскрытия диффузора из формулы (62):

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha}{2}=\frac{D-a}{2l_к}=\frac{0{,}315-0{,}18}{2\cdot 0{,}56}=0{,}12,\ \alpha=14°,$$

где D — наибольшая сторона диффузора.

По углу $\alpha=15°$ и $n=2{,}4$ из таблицы 37 находят коэффициент сопротивления диффузора, равный 0,28.

Тройник с клапаном после вентилятора на участке *ЖЗ* работает как колено с углом 30° и $R_0=0$. По таблице 32 определяют для шероховатой трубы коэффициент сопротивления колена $\zeta_к=0{,}21$.

Таблица 36. **Коэффициент сопротивления тройника во всасывающих воздухопроводах** (см. примечание)

α, град	$S_{п}/S$	$S_{б}/S$	$Q_б/Q$								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	0,2	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	—0,5	—4
			—150	—27	—8	—2,6	—0,6	0,0	0,2	0,4	0,4
		0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	—0,1	—2,8
			—210	—39	—12	—4,0	—1,2	—0,1	0,2	0,4	0,4
		0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	—2,3
			—292	—54	—17	—5,4	—1,7	—0,1	0,2	0,4	0,4
	0,3	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	—0,1	—2,1	—15
			—	—	—	—	—	—	—	—	—
		0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	—0,1	—1,4	—11
			—87	—15	—4,0	—1,2	—0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,0	—1,0	—8
			—103	—18	—5,0	—1,4	—0,2	0,1	0,3	0,4	0,4
		0,8	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,1	—0,6	—7
			—160	—29	—8,0	—2,4	—0,4	0,1	0,3	0,4	0,4
	0,4	0,5	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	—0,9	—4,6	—28
			—	—	—	—	—	—	—	—	—
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	—0,6	—3,2	—20
		0,6	—65	—12	—3,2	—0,8	0,0	0,2	0,4	0,4	0,4
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	—0,4	—2,4	—14

	0,7	—76	—13	—3,3	—0,8	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	—0,4	2,4	14
	0,8	—103	—17	—4,6	0,8	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	—1,3	—5,4	—19	—100
	0,3	—11,7	—1,0	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	—0,9	—3,4	—13,6	—75
	0,4	—22,4	—2,4	0,5	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
		0,2	0,2	0,2	0,2	0	—0,5	—2,1	—8,1	—46
	(0,5)	—38	—6,3	—1,2	0,2	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
		0,2	0,2	0,2	0,2	0	—0,5	—2,1	—8,1	—46
	0,6	—52	—9	—2,5	0,6	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
0,5		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,1	—0,9	—4,1	—24
	0,7	—70	—12	—3,0	—0,8	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0	—0,8	—3,8	—23
	0,8	—77	—15	—4,0	—0,8	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,2	0,2	0,1	—0,1	—1,0	—3,0	—8,0	—26	—140
	0,2	—42	—0,2	0,6	0,9	1,0	1,0	—	—	—
		0,2	0,2	0,2	0,0	—0,6	—2,1	—6,8	—23	—125
	0,3	—10,4	0,8	—0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
0,6		0,2	0,2	0,2	0,1	—0,2	—1,5	—5,0	—17	—96
	0,4	—18	—1,8	0,4	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
		0,2	0,2	0,2	0,1	—0,1	—0,8	—2,5	—10	—57
	0,5	—30	—6,0	—0,1	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,2	—1,2	—6,3	—40
	0,6	—45	—8,1	—2,3	—0,6	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
		0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,1	—1,2	—5,4	—36
	0,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	0,8	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,0	—1,0	—4,5	—31
		—	—	—	—	—	—	—	—	—

30

Продолжение

α, град	$S_п/S$	$S_б/S$	$Q_б/Q$								
			0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30	0,7		0,2	0,2	0,0	—0,4	—1,5	—4,0	—12,0	—38	—200
		0,2	—3,8	—0,1	0,7	0,9	1,0	1,0	—	—	—
			0,2	0,2	0,2	0,0	—0,6	—2,5	—8,0	—28	—150
		0,3	—9,0	—0,6	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		0,4	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,3	—1,9	—7,0	—25	—140
			—16	—1,2	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
			0,2	0,2	0,2	0,1	—0,2	—1,3	—5,0	—16	—91
		0,5	—25	—4,7	0,0	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,3	—1,6	—7,0	—49
		0,6	—40	—7,2	—2,0	—0,6	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4
	0,8		0,2	0,2	0,0	—0,5	—2,0	—5,6	—16	—52	—278
		0,2	—3,2	0,1	0,7	0,9	1,0	1,0	—	—	—
			0,2	0,2	0,1	—0,1	—1,1	—3,4	—10,0	—3,5	—192
		0,3	—8	—0,4	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			0,2	0,2	0,2	0,0	—0,7	—2,8	—9,0	—30	—173
		0,4	—14	—0,5	0,6	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
			0,2	0,2	0,2	0,1	—0,3	—1,8	6,0	—20	—115
		0,5	—23	—3,5	0,1	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,4	—2,3	—10	—64
		0,6	—36	6,8	—1,8	—0,4	0,0	0,2	0,3	0,4	0,4

			0,2	0,2	0,0	—0,6	—2,8	—8,3	—23	—74	—387
		0,2	—2,5	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	—	—	—
			0,2	0,2	0,1	—0,2	—1,6	—5,3	—15	—48	—266
		0,3	—6,3	—0,1	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			0,2	0,2	0,2	0,0	—1,0	—3,5	—11	—36	—206
	0,9	0,4	—12	—0,1	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
			0,2	0,2	0,2	0,1	—0,3	—2,0	—7,0	—24	—137
		0,5	—19	—2,5	0,2	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,4	—2,3	—12	—80
		0,6	—33	—5,9	—1,4	—0,2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
30											
			0,2	0,2	—0,4	—1,8	—5,2	—13,0	—34	—105	—540
		0,2	—2,0	0,3	0,9	1,0	1,0	1,0	—	—	—
			0,2	0,2	0,0	—0,8	—3,2	—8,4	—23	—71	—375
		0,3	—5,4	0,2	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
			0,2	0,2	0,1	—0,2	—1,6	—5,0	—14	—47	—255
	1,0	0,4	—10	—0,4	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
			0,2	0,2	0,2	0,0	—0,5	—2,2	—8,0	—26	—155
		0,5	—15	—1,4	0,3	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
			0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	—0,5	—2,8	—15	—100
		0,6	—30	—50	—1,1	—0,1	—0,1	0,3	0,4	0,4	0,4

Примечание. Верхняя строка — коэффициент сопротивления проходного потока $\zeta_п$, нижняя — коэффициент сопротивления бокового потока $\zeta_б$ с учетом коэффициента сопротивления отвода.

Таблица 37. **Коэффициенты сопротивлений диффузоров на выравненном потоке**

n	Сечение	α, град							
		5	10	15	20	25	30	40	50
1,5	Кр.*	0,05	0,04	0,05	0,06	0,08	0,10	0,14	0,17
	Кв.**	0,06	0,06	0,08	0,11	0,15	0,19	0,27	0,32
2,0	Кр.	0,08	0,08	0,11	0,15	0,20	0,24	0,35	0,42
	Кв.	0,10	0,13	0,20	0,27	0,37	0,57	0,67	0,81
2,5	Кр.	0,09	0,11	0,15	0,21	0,28	0,35	0,50	0,60
	Кв.	0,13	0,18	0,28	0,39	0,53	0,67	0,97	1,15
3,0	Кр.	0,10	0,13	0,18	0,25	0,34	0,43	0,61	0,73
	Кв.	0,15	0,22	0,34	0,47	0,65	0,81	1,18	1,41
4,0	Кр.	0,12	0,16	0,23	0,31	0,43	0,53	0,77	0,91
	Кв.	0,17	0,27	0,42	0,59	0,81	1,02	1,48	1,76

* Кр. — круглое.
** Кв. — квадратное.

Коэффициент сопротивления диффузора при входе в рециркуляционный аппарат находят по таблице 37 с учетом размеров диффузора, который имеет прямоугольную форму 700×230 мм. Размер 700 мм принимают по ширине аппарата, а размер 230 мм вычисляют по формуле (45) при скорости входа воздуха 5 м/с. Угол раскрытия диффузора $\alpha=27°$ находят по формуле (62). Степень расширения диффузора $n=$ $=0{,}7\cdot0{,}23/0{,}0779=2$. Тогда из таблицы 37 коэффициент сопротивления диффузора $\zeta_д=0{,}22$.

Потери давления в рециркуляционном аппарате на участке *ЗИ* принимают от 120 до 150 Па с учетом входного носка, соединенного с диффузором. В примере принято наибольшее сопротивление, равное 150 Па.

Общее сопротивление сети по главной магистрали при работе на рециркуляцию (см. табл. 31, гр. 12) будет 1681 Па.

При работе вентиляционной сети на выхлоп участки *ЖЗ—ЗИ* отключают клапаном. В этом случае сопротивление сети по главной магистрали уменьшится, так как потери давления на участке *ЖК* будут меньше, чем на двух участках *ЖЗ* и *ЗИ*.

Результаты расчетов потерь давления на участке *ЖК* приведены в таблице 31. Общие потери на участке *ЖК* с учетом вакуума равны 1615 Па, т. е. меньше, чем при работе на рециркуляцию, на 66 Па.

Вентилятор подбирают по большему сопротивлению (1681 Па), но после его подбора проводят проверочный расчет наличия запаса мощности электродвигателя, так как с уменьшением сопротивления сети уменьшается КПД вентилятора и увеличивается мощность.

Окончательный подбор вентилятора к сети, расчет мощности электродвигателя для его привода. Вентилятор подбирают по давлению $H_в$ (в Па) и расходу $Q_в$ (в м³/ч) из характеристик приложения 8 и рисунку 50.

На пересечении величин $H_в$ и $Q_в$ находят точку, которая определяет КПД и частоту вращения рабочего колеса вентилятора. Просматривая характеристики нескольких номеров и типов вентиляторов, окончательно принимают такой вентилятор, который дает наибольший КПД.

Давление $H_в$, по которому подбирают вентилятор, находят по формуле

$$H_в = 1{,}1 H_{сети}, \qquad (84)$$

где 1,1 — коэффициент, учитывающий добавочные сопротивления, не учтенные расчетными формулами, например наличие выступающих прокладок во фланцевых соединениях, вмятин в воздухопроводах, запыленность воздуха и т. п.; $H_{сети}$ — сопротивление сети, равное сумме потерь давления на участках главной магистрали (принимают из табл. 31 гр. 12).

Расход воздуха, необходимый для подбора вентилятора, находят по формуле

$$Q_в = Q^{п}_{сети} + Q_{подс}, \qquad (85)$$

где $Q^{п}_{сети}$ — полезный расход воздуха в сети, равный сумме расходов аспирируемых машин; $Q_{подс}$ — подсос воздуха в сети (находят по формуле 79).

В данном примере из таблицы 31 расход воздуха вентилятора $Q_в = 2970 \cong 3000$ м³/ч, давление вентилятора $H_в = 1{,}1$, $H_{сети} = 1{,}1 \cdot 1681 = 1900$ Па.

Так как через вентилятор проходит очищенный воздух, можно подобрать вентилятор общего назначения, а если он не подходит, то пылевой. Просматривая характеристики центробежных вентиляторов (см. приложение 8), находят, что для $Q_в = 3000$ м³/ч и $H_в = 1900$ Па можно применить или центробежный вентилятор ВЦП-4 с $\eta_в = 0{,}59$ и частотой вращения

$n=2350$ об/мин, или ЦП7-40 № 5 с $\eta_в=0{,}545$ и $n=1900$ об/мин.

Преимущество вентилятора ВЦП-4 состоит в том, что он имеет меньшие габаритные размеры и больший КПД, чем вентилятор ЦП7-40 № 5. Поэтому принимают вентилятор ЦП-4 № 4 с $n=2350$ об/мин и $\eta_в=0{,}59$.

Мощность для привода вентилятора определяют по формуле (56):

$$N_в=\frac{3000\cdot1900}{3600\cdot1000\cdot0{,}59}=2{,}7 \text{ кВт}.$$

Мощность электродвигателя определяют по формуле (57), она составит

$$N_э=1{,}15\frac{2{,}7}{0{,}97\cdot0{,}96}=3{,}38 \text{ кВт}\cong3{,}4 \text{ кВт}.$$

Из приложения 10 находят электродвигатель А02 41-4-УП мощностью 4 кВт с частотой вращения $n=1440$ *об/мин*.

Установочная мощность электродвигателя 4 кВт вместо потребной 3,4 кВт обеспечивает возможность нормальной работы при работе сети на выхлоп с меньшим КПД.

§ 9. Оформление чертежей, пояснительной записки и спецификаций

Чертежи проекта, пояснительную записку и спецификации оформляют с соблюдением ЕСКД. Форма, размеры и содержание основных надписей угловых штампов чертежей показаны на рисунке 79.

При заполнении штампа чертежа общего вида установки в графе № 1 записывают тему проекта, например «Аспирационная установка № 5 элеватора». Сборочный или монтажный чертеж. В графе № 2 обозначение чертежа записывают с учетом структуры обозначений по ЕСКД.

Например, чертежи вентиляционной установки на листе № 1 проекта (см. рис. 79) обозначают: 61.КП.ВУ5.00.000СБ, где 61 — номер кафедры; КП — курсовой проект; ВУ5 — шифр темы проекта (сеть № 5); 00.000СБ — обозначение общего вида установки

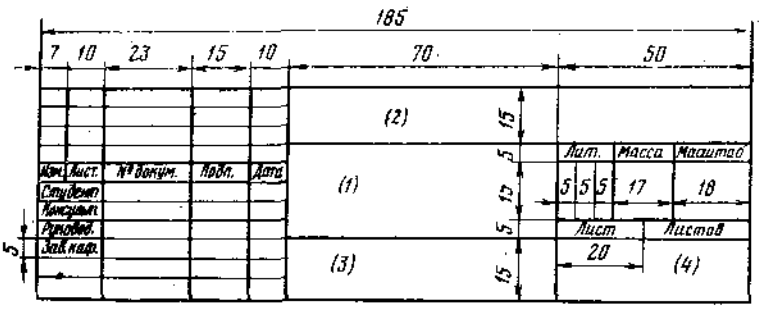


Рис. 79. Форма штампа на чертежах проекта:
1 — наименование изделия; *2* — обозначение чертежа; *3* — материал по ГОСТ для чертежей деталей; *4* — шифр института и номер группы.

в цехе; СБ — сборочный чертеж. Или 61.КП.ВУ5.МЧ. где МЧ — монтажный чертеж.

Сборочные единицы высшего порядка, например, вентиляционные установки на листе № 2 цеха, обозначают:

61.КП.ВУ1.01.000СБ — вентиляционная установка № 1;
61.КП.ВУ2.02.000СБ — » » № 2;
61.КП.ВУ5.05.000СБ — » » № 5.

Сборочные единицы низшего порядка, входящие в сборочные единицы высшего порядка, в конце обозначения шифра имеют нуль. Например, тройник сети № 5, имеющий в спецификации позицию *4*, обозначают 05.040.

Детали не имеют окончания «нуль». Например, деталь позиции 10, входящая в сборочную единицу 01.000, обозначают 01.011, деталь 20 — 01,021 и т. д.

К каждому сборочному чертежу проекта составляют отдельную спецификацию на листах формат 11 со штампом.

Спецификации подшивают в конце пояснительной записки.

Сборочный чертеж вентиляционных воздухопроводов сети № 5 61.КП.ВУ5.05.000СБ показан на рисунке 80.

После сборочных единиц в спецификацию записывают нестандартные детали, на которые необходимо разрабатывать чертежи. В конце спецификации записывают стандартные и готовые изделия и детали с

указанием государственных стандартов и технических условий.

В сборочном чертеже на листе № 1 чертят трассу воздухопроводов в диаметрах, а в монтажном чертеже — в одну утолщенную линию. В последнем случае спецификации к проекту сборочных единиц не пишут, а номера сетей записывают на чертежах листа № 1.

На листе № 2 вместо сборочного чертежа, как это показано на рисунке 80, чертят монтажную схему сети в аксонометрии без масштаба, где воздухопро-

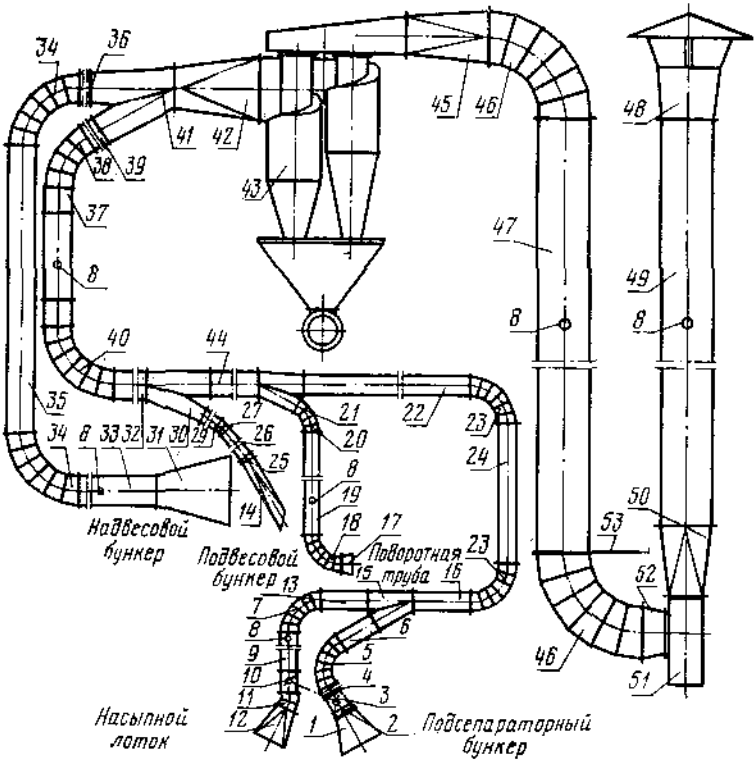


Рис. 80. Вентиляционные воздухопроводы сети № 5 (сборочный чертеж 61.КП.ВУ5.05.000СБ):

1, 12, 14, 17, 31, 42, 45, 52 — конфузоры; *2, 4, 6, 9, 13, 16, 19, 22, 24, 26, 29, 32, 33, 35, 36, 37, 44, 47, 49* — прямики; *3, 10* — клапаны; *5, 7, 18, 20, 23, 25, 27, 34, 38, 40, 46* — отводы; *8* — отверстия с заглушками для замеров; *15, 21, 30, 41* — тройники; *43* — батарейный циклон с шлюзовым затвором; *48* — диффузор с защитным зонтом; *50* — диффузор; *51* — вентилятор; *53* — задвижка.

воды вычерчивают одной утолщенной линией. Монтажную схему сети № 5 обозначают на листе № 2 так: 61.КП.ВУ5.П4, где П4 — схема пневматическая (П) монтажная (4).

На листе № 2 монтажной схемы сети выше углового штампа составляют экспликацию. Номера позиций пишут сверху вниз.

На листе № 3 проекта (см. рис. 79, гр. 1) пишут: «Аспирация насыпного лотка. Монтажный чертеж». Во второй графе пишут обозначение: 61.КП.ВУ5/14МЧ, где 5 — номер аспирационной сети; 14 — номер позиции конфузора аспирируемой машины по экспликации листа № 2.

Пояснительную записку оформляют на листах, формат 11. После титульного листа подшивают задание на проект, затем первый лист пояснительной записки со штампом.

На первом листе П.З. дают содержание. Каждый раздел П.З. начинают с нового листа. Примерное содержание П.З. приводится ниже.

Содержание

1. Введение
2. Аспирируемое оборудование верхних этажей рабочей башни элеватора
3. Расчет воздухообмена и обоснование типов проектируемых сетей
4. Компоновка вентиляционных сетей и определение их количества
5. Подбор (расчет) пылеотделителя для вентиляционной сети № ...
6. Предварительный подбор вентилятора к вентиляционной сети № ...
7. Расстановка пылеотделителя и вентилятора
8. Проектирование трассы воздухопроводов сети № ...

8.1. Размеры конфузоров аспирируемого оборудования сети № ...,
8.2. Предварительный расчет диаметров воздухопроводов вентиляционной сети № ...

9. Расчет вентиляционной сети №...

9.1. Расчетная схема вентиляционной сети №...
9.2. Расчетная таблица
9.3. Пояснения к расчету сети
9.4. Окончательный подбор вентилятора и расчет мощности для его привода
9.5. Расчет мощности электродвигателя для привода вентилятора и подбор электродвигателя

10. Проектирование сборочного чертежа вентиляционных воздухопроводов сети № или монтажной схемы сети №...
11. Специальная часть проекта. Устройство аспирации машины
12. Литература

§ 10. Аспирация оборудования

При аспирации любой машины необходимо соблюдать следующие основные требования.

Первое требование. Корпуса или кожухи аспирируемого оборудования должны иметь максимально возможную герметичность. Чем выше герметичность оборудования, тем выше эффективность аспирации при минимальном расходе воздуха. Это требование относится ко всем видам оборудования, независимо от назначения аспирации. При санитарно-гигиеническом назначении аспирации воздух входит в аспирируемое оборудование через питающий механизм и неплотности корпуса.

При технологическом или взрывобезопасном назначении аспирации в корпусе оборудования предусматривают для входа воздуха специальные отверстия (см. пятое требование).

Второе требование. Место аспирационного отверстия в корпусе проектируют там, где наибольшее выделение пыли, наибольшее давление и наибольшая температура воздуха, например в машинах с вращающимися рабочими органами давление у периферии больше, чем в центре, из-за центробежных сил. Поэтому выход воздуха при аспирации таких машин проектируют в боковой стенке цилиндрического корпуса, а вход — в торцах, ближе к оси вращения.

Теплый воздух имеет меньшую плотность и поднимается к верхним стенкам корпуса, поэтому обычно при аспирации машин для охлаждения проектируют выходное отверстие вверху, а входное — внизу.

Третье требование. Форма выходного отверстия для аспирации должна учитывать назначение аспирации и форму корпуса оборудования, например, в оборудовании, которое аспирируют только с санитарно-гигиенической целью, форма выходного отверстия может быть любой

В оборудовании, где аспирация выполняет технологические цели, форма выходных и входных отверстий должна быть прямоугольной, причем наибольший размер прямоугольника равен длине рабочего органа машины, например, в зерновых сепараторах — ширине пневмосепарирующего канала, равной ширине сит; в вальцовых станках отверстие для входа и выхода воз-

духа равно длине вальцов; в обоечных машинах выходное отверстие в барабане равно длине бичевого барабана и т. п.

Четвертое требование. Площадь поперечного сечения выходного отверстия для аспирации должна быть достаточной, чтобы скорость воздуха в выходном отверстии была минимальной и воздух не уносил перерабатываемые продукты, муку и другие частицы и не создавались взрывоопасные концентрации пылевидных частиц в воздухопроводах. Скорость воздуха в аспирационных отверстиях оборудования во входных отверстиях конфузоров принимают на зерне не более 2 м/с, на муке не более 0,8, на комбикормах не более 0,5 м/с.

Пятое требование. При аспирации оборудования, в котором воздух выполняет технологические или взрывобезопасные задачи, в корпусе проектируют специальные входные отверстия. Их место выбирают так, чтобы входящий воздух пересекал слой обрабатываемого продукта и омывал рабочие органы машины. Кроме того, место входного отверстия располагают там, где меньше давление, ниже температура и меньше образуется пыли.

Шестое требование. Площадь поперечных сечений входных отверстий в корпусе аспирируемого оборудования (в м^3) рассчитывают из условия поддержания разрежения внутри корпуса

$$S_{вх} = \frac{Q_{вх}}{v_{вх}}, \qquad (86)$$

где $Q_{вх}$ — расход воздуха, входящего через отверстие в аспирируемую машину, м^3/с; $v_{вх}$ — скорость движения воздуха во входном отверстии, м/с;

$$v_{вх} = \sqrt{\frac{2H_м}{\rho\zeta_{вх}}}, \qquad (87)$$

где $H_м$ — вакуум внутри корпуса аспирируемой машины, равный потерям давления в машине, принимают не менее 30 Па для того, чтобы не было выделения пыли через входные отверстия в рабочее помещение; ρ — плотность воздуха, кг/м^3; $\zeta_{вх}$ — коэффициент сопротивления входного отверстия (при узких щелевидных отверстиях с острыми кромками, $\zeta_{вх} \approx 2$).

Седьмое требование. Площадь поперечных сечений аспирационных каналов внутри оборудования не должна расширяться по направлению движения воздуха,

что предотвратит осаждение пыли. Конфузор аспирируемого оборудования располагают вертикально или наклонно под углом не менее 60° к горизонтали. Проектировать конфузоры горизонтально нельзя, так как они забиваются пылью. Вместо горизонтального конфузора проектируют аспирационный носок и вертикальный конфузор.

Восьмое требование. Для уменьшения взрывоопасности аспирируемого оборудования внутри него не должно быть свободных «мертвых» объемов без движения воздуха, где возможно образование очагов взрывоопасной концентрации пыли. Свободные объемы со взрывоопасной концентрацией пыли могут быть устранены созданием целенаправленного воздушного потока или применением специальных заполнителей.

§ 11. Определение расходов воздуха на аспирацию оборудования

Нормы расхода воздуха на аспирацию оборудования должны быть обоснованы. При изменении конструкции машины или ее технологических параметров в процессе эксплуатации нормы расхода воздуха должны изменяться. Расчетные формулы для определения расхода воздуха зависят от назначения аспирации. Если аспирация машины имеет несколько назначений, например санитарно-гигиеническое, взрывобезопасное и технологическое, тогда рассчитывают расход воздуха для каждого назначения.

Полученные расходы сравнивают и принимают наибольший из них, который необходим для выполнения основного назначения аспирации.

Расчет расхода воздуха на аспирацию оборудования с санитарно-гигиеническим назначением. Для оборудования, в котором основное назначение аспирации — обеспыливание помещений с санитарно-гигиеническими целями, расход воздуха ($м^3/ч$) рассчитывают по формуле

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \pm Q_4, \qquad (88)$$

где Q_1 — количество воздуха, поступающего в аспирируемое оборудование с продуктом через самотечную трубу или питающее отверстие, $м^3/ч$; Q_2 — количество воздуха, вытесняемого через неплотности корпуса аспирируемого оборудования для поддержания вакуума, $м^3/ч$; $\pm Q_4$ — количество воздуха, подсасываемого через

самотечную трубу на выходе продукта в машину ($+Q_4$), или удаляемого из оборудования его рабочими органами, например ковшами нории из головки, или за счет вакуума в самотечной трубе ($-Q_4$), в большинстве случаев $Q_4=0$.

Расходы воздуха можно определить по следующим формулам:

$$Q_1=3600(1-\varphi)S_c v_c;\quad Q_2=\frac{G}{\rho_п};\quad Q_3=3600S_щ v_щ,$$

где φ — коэффициент заполнения поперечного сечения самотечной трубы продуктом, в большинстве оборудования можно принимать $\varphi=0{,}5$; S_c — площадь поперечного сечения самотечной трубы или питающего отверстия в корпусе машины, м²; v_c — скорость движения воздуха в конце самотечной трубы, подсоединенной к корпусу машины, м/с; $v_c=\sqrt{2gl(\sin\alpha-f\cos\alpha)}$; l — длина самотечной трубы, м; α — угол наклона трубы (для зерна $\alpha=45°$; для муки и продуктов размола $\alpha\geqslant 60°$); f — коэффициент трения продукта о поверхность трубы; для остальных труб при движении зерна $f=0{,}37$; G — производительность заполнения продуктом аспирируемого оборудования, кг/ч; $\rho_п$ — плотность насыпи продукта; для зерна $\rho_п=730$ кг/м³, для муки, отрубей и продуктов размола $\rho_п=500$ кг/м³; $S_щ$ — площадь поперечных сечений неплотностей корпуса (щелей), м²; $S_щ=\delta\varepsilon l$; εl — сумма периметров швов разъемных соединений корпуса аспирируемого оборудования, м; δ — зазор швов разъемных соединений корпуса (в м); зазор не должен превышать допуска на свободные размеры (1—2 мм); $v_щ$ — скорость входа воздуха через щели (в м/с), находят по формуле (87).

Полученный расчетом по формуле (88) расход сравнивают с нормами (приложение 4) и дают заключение о допустимости расхождений.

Расчет расхода воздуха на аспирацию для создания условий взрывобезопасности. Для оборудования, основное назначение аспирации которого состоит в удалении пыли и создании условий взрывобезопасности, расход при аспирации рассчитывают (в м³/ч) по формуле

$$Q=\frac{K_в A}{a_{min}},\qquad (89)$$

где $K_в$ — коэффициент взрывобезопасности; $K_в=2$; A — количество пыли, которое образуется в машине и находится в аэрозольном состоянии, г/ч; a_{min} — минимальный нижний предел взрывоопасной концентрации пыли, г/м³ (принимают по приложению 6).

Величину A в формуле (89) можно определить из баланса зольности

$$A=\frac{1000(\delta_1-\delta_2)}{\delta_п}G,\qquad (90)$$

где δ_1 и δ_2 — зольность зерна до и после обработки, %; $\delta_п$ — зольность пыли, %; G — производительность машины, кг/ч.

Иногда величину A определяют по опытным данным. Так, например, для обоечных машин с абразивным цилиндром количество пыли составляет приближенно от 0,4 до 0,8%, для сепараторов 0,6% от производительности машин.

Пример. Рассчитать расход воздуха при аспирации обоечной машины ЗНМ-5, работающей на пшенице.

Количество пыли, образуемой в обоечной машине и подлежащей удалению при аспирации, находят из баланса зольности по формуле (90):

$$A = \frac{1000(1{,}98-1{,}92)5000}{15{,}28} = 19\,500 \text{ г/ч}.$$

Из данных технологического баланса зольность зерна при поступлении в машину $\delta_1 = 1{,}98\%$, при выходе из машины после обработки $\delta_2 = 1{,}92\%$, а зольность пыли, уловленной из воздуха обоечной машины, $\delta_п = 15{,}28\%$.

Из приложения 6 принимают минимальный предел взрывоопасной концентрации для зерновой пыли $a_{min} = 12{,}6$ г/м³. Коэффициент взрывоопасности принимают $K_в = 2$.

Подставляя все значения в формулу (90), подсчитывают расход воздуха для аспирации обоечной машины ЗНМ-5 из условий взрывобезопасности

$$Q = \frac{2 \cdot 19\,500}{12{,}6} = 3100 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По нормам из приложения 5 находят расход воздуха для машин, установленных на мукомольных заводах, $Q = 3000$ м³/ч, что приближается к требованиям взрывоопасности. Для машин ЗНМ-5, установленных на крупозаводах, расход меньше ($Q = 1800$ м³/ч), что недостаточно и требует уточнения количества пыли, образуемой при работе этой машины на крупозаводе.

Расчет расхода воздуха на аспирацию для удаления тепла. Расход воздуха при аспирации оборудования для удаления тепла для охлаждения рабочих органов и перерабатываемых продуктов рассчитывают (в м³/ч) по формуле

$$Q = \frac{a I}{\rho(i_2 - i_1)}, \qquad (91)$$

где a — коэффициент, показывающий, какая часть общего количества тепла должна удаляться воздухом при аспирации (находят из теплового баланса); ρ — плотность воздуха, кг/м³; i_1 и i_2 — первоначальное и конечное теплосодержание воздуха при входе и выходе из машины, кДж/кг (находят по I—d-диаграмме (приложение 1) по температуре и влажности).

Для вальцовых станков принимают $a=0{,}31$ (от 0,29 до 0,34), для последних размольных и вымольных систем коэффициент будет больше 0,31, что требует специальных исследований.

Температуру конечного воздуха принимают меньше допустимой из условий перегрева и порчи перерабатываемых продуктов. Например, на вальцовых станках температуру принимают меньше +40°С из условия сохранения качества клейковины. Конечная относительная влажность воздуха может быть равна первоначальной или изменяться в зависимости от влажности перерабатываемого продукта.

Тепло, удаляемое при аспирации оборудования, может быть использовано для отопления рабочих помещений. Для этого проектируют вентиляционные установки с рециркуляцией.

Количество тепла, которое может быть использовано при рециркуляции для отопления I° (кДж/ч), рассчитывают по формуле

$$I_0=3600a_0N_0,$$

где a — коэффициент, показывающий, какая часть общего количества тепла используется на отопление в сетях с рециркуляцией воздуха; так, например, при рециркуляции всего воздуха машин размольного отделения мукомольных заводов $a_0=0{,}73$; N_0 — общая мощность (кВт), потребная для машин, воздух которых используется в сетях с рециркуляцией.

Пример. Рассчитать расход воздуха для аспирации вальцового станка ЗМ с вальцами 1000×250 мм, установленного на III драной системе, из условий удаления тепла.

Определяем количество тепла, выделяемого при работе одной парой вальцов,

$$I=3600N=3600\cdot 20{,}7=74\,520 \text{ кДж/ч},$$

где N — мощность, потребная для пары вальцов III драной системы ($N=20{,}7$ кВт).

Первоначальное теплосодержание воздуха при входе в станок находим из приложения 1, принимая температуру воздуха в помещении $t_1=+20^\circ$С, относительную влажность $\varphi_1=80\%$, $i_1=50{,}23$ кДж/кг. Конечное теплосодержание при выходе из станка определяем при $t_2=+30^\circ$С, $\varphi_2=80\%$, $i_2=85{,}84$ кДж/кг.

Так как теплосодержание определено на 1 кг сухого воздуха, то плотность вычисляют по формуле (2):

$$\rho=\frac{P}{RT}=\frac{98\,100}{287\cdot 303}=1{,}127 \text{ кг/м}^3.$$

Подставляя полученные значения в формулу (91) при максимальном коэффициенте $a=0{,}34$, получаем

$$Q=\frac{aI}{\rho(i_2-i_1)}=\frac{0{,}34\cdot 74\,520}{1{,}127(85{,}84-50{,}23)}=631 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

При минимальном коэффициенте $a=0{,}29$ расход воздуха на аспирацию пары вальцов III драной системы будет $Q=538$ м³/ч.

По нормам ЦНИИпромзернопроект (см. приложение 5) расход воздуха для III драной системы (480 м³/ч) занижен и нуждается в уточнении.

Расчет расхода воздуха на аспирацию для очистки зерна от примесей и обогащения продуктов размола и шелушения зерна. Расход воздуха при аспирации оборудования для очистки зерна от примесей и продуктов шелушения от лузги, отличающихся аэродинамическими свойствами, рассчитывают (в м³/ч) по формуле

$$Q=3600S_{\text{к}}v_{\text{к}}, \qquad (92)$$

где $S_{\text{к}}$ — площадь поперечного сечения пневмосепарирующего канала в том месте, где воздух пересекает слой зерна, м²; $v_{\text{к}}$ — скорость воздуха в пневмосепарирующем канале (в м/с); принимают меньше минимальной скорости витания очищаемого зерна $v_{\text{в.з}}$ и больше скорости витания удаляемых примесей $v_{\text{в.п}}$, т. е. $v_{\text{в.з}}>v_{\text{к}}>v_{\text{в.п}}$.

При очистке зерна пшеницы принимают $v_{\text{к}}\leqslant 6{,}0$ м/с, на продуктах шелушения $v_{\text{к}}=4...5$ м/с.

Для определения величины $S_{\text{к}}$ можно использовать формулу

$$S_{\text{к}}=aB,$$

где a — глубина канала, м (при удельной нагрузке 20...30, 40...50 и 50...100 кг (ч·см) величина a соответственно равна 80...100, 100...130 и 130...200 мм.

Меньшие удельные нагрузки принимают для мукомольных и крупяных заводов, большие для элеваторов. При очистке крупы от лузги принимают удельную нагрузку 10—15 кг/(ч·см), а величину $a=80$ мм.

Пример. Рассчитать расход воздуха в пневмосепарирующих каналах сепаратора ЗСМ-10 при очистке зерна пшеницы от примесей.

Из технической характеристики сепаратора находят ширину пневмосепарирующих каналов $B=1490$ мм, глубину $a=130$ мм и определяют площадь поперечного сечения пневмосепарирующего канала

$$S_{\text{к}}=1{,}49\cdot 0{,}13=0{,}1937 \text{ м}^2.$$

Задавшись скоростью движения воздуха в канале первой продувки $v_{\text{к}}=6$ м/с, находят расход воздуха

$$Q_1=3600S_{\text{к}}v_{\text{к}}=3600\cdot 0{,}1937\cdot 6=4184 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Расход воздуха в канале второй продувки принимают равным или на 5—10% больше, чем в канале первой продувки, т. е.

$$Q_2 = 1{,}05 \cdot 4184 \approx 4400 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

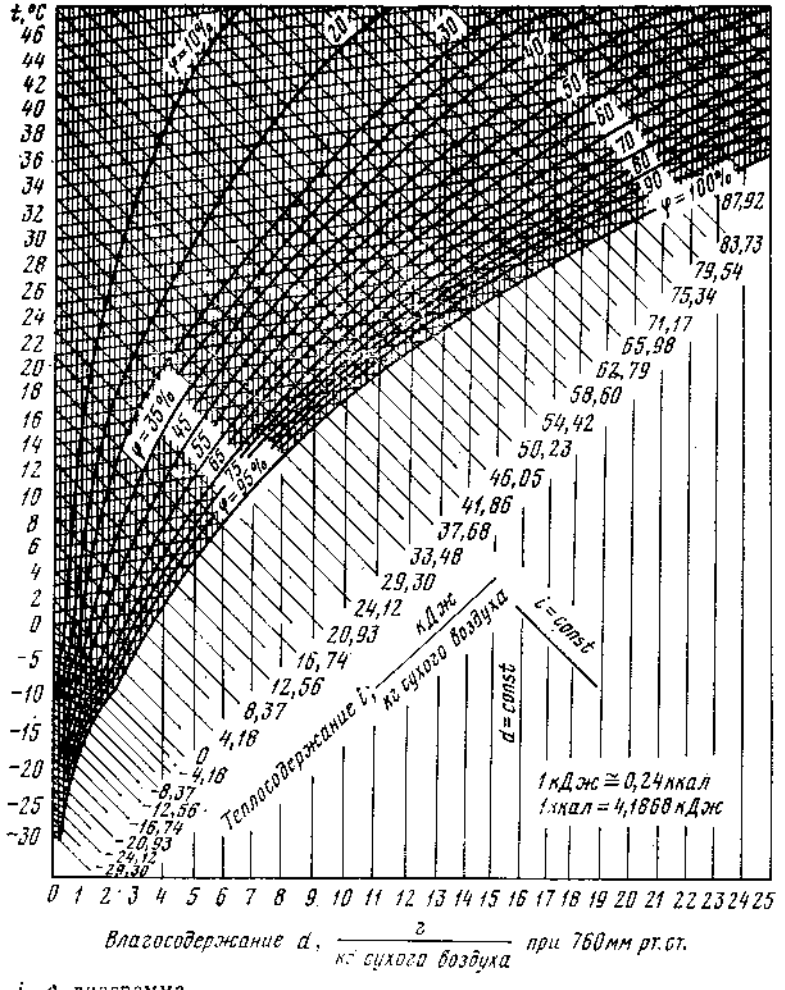
Общий расход воздуха для сепаратора ЗСМ-10 составит

$$Q = Q_1 + Q_2 = 4184 + 4400 = 8584 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

По нормам (см. приложение 5) расход воздуха для сепаратора ЗСМ-10 равен 9000 м³/ч, что достаточно.

Количество воздуха при аспирации ситовеечных машин для обогащения крупок определяют по формуле (92), в которой $S_к$ — площадь сит, продуваемых воздухом, м², $v_к$ — скорость воздуха над поверхностью сита и слоя продукта, м/с. Эту скорость принимают меньше скорости витания оболочечных частиц крупы, которые идут сходом с сит. Например, минимальная скорость витания оболочечных частиц крупной крупы 1 м/с, средней крупы 0,8, мелкой крупы 0,5, дунстов 0,4 м/с. Рекомендуют принимать скорость для крупной крупы 0,6 м/с, для средней 0,45, для мелкой 0,36, для дунстов 0,31 м/с.

Приложение 1



i- *d* диаграмма.

Размещение точек измерения давлений в круглых воздухопроводах (см. рис. 45)

Диаметр воздухопровода, мм	Расстояние точки замера от стенки воздухопровода, мм					
	первая	вторая	третья	четвертая	пятая	шестая
1	2	3	4	5	6	7
80	4	12	24	56	68	76
100	4	15	30	70	85	96
110	5	16	33	77	94	105
125	5	18	38	87	108	120
140	6	20	41	99	120	134
150	6	22	44	106	128	144
160	7	23	47	113	137	153
170	7	25	50	120	145	163
180	7	26	53	127	156	173
190	8	28	56	134	162	182
200	8	29	59	141	171	192
210	9	31	62	148	179	201
225	9	33	66	158	192	216
240	10	35	71	169	205	230
250	10	37	74	176	213	240
260	10	38	77	183	222	250
270	11	40	80	190	230	259
280	12	41	83	197	239	268
290	12	42	86	204	248	278
300	12	44	89	211	256	288
315	13	46	93	221	269	302
330	14	48	98	232	282	316
340	14	50	101	239	290	326
355	14	52	106	249	303	340
370	15	54	110	260	316	355
380	16	56	112	268	324	364
390	17	57	115	275	333	373
400	18	58	118	282	342	382
410	18	60	121	289	350	392
420	18	61	124	296	359	402
430	19	63	127	303	367	411
440	19	64	130	310	376	421
450	20	66	133	317	384	430
460	20	67	136	324	393	440
470	21	69	139	331	401	449
480	21	70	142	338	410	459
490	21	72	145	345	418	469
500	22	73	148	352	427	478
510	23	75	151	359	435	487

Значения скоростей воздуха v м/с при различных динамических давлениях $H_д$ Па для стандартного воздуха $\rho = 1{,}2$ кг/м³, подсчитанные на ЭВМ

$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с
1	1,29	46	8,76	91	12,32
2	1,83	47	8,85	92	12,38
3	2,24	48	8,94	93	12,45
4	2,58	49	9,04	94	12,52
5	2,89	50	9,13	95	12,58
6	3,16	51	9,22	96	12,65
7	3,42	52	9,37	97	12,71
8	3,65	53	9,40	98	12,78
9	3,87	54	9,49	99	12,85
10	4,08	55	9,57	100	12,91
11	4,28	56	9,66	101	12,97
12	4,47	57	9,75	102	13,04
13	4,65	58	9,83	103	13,10
14	4,83	59	9,92	104	13,17
15	5,00	60	10,00	105	13,23
16	5,16	61	10,08	106	13,29
17	5,32	62	10,17	107	13,35
18	5,48	63	10,25	108	13,41
19	5,63	64	10,33	109	13,48
20	5,77	65	10,41	110	13,54
21	5,92	66	10,49	111	13,60
22	6,06	67	10,57	112	13,66
23	6,19	68	10,65	113	13,72
24	6,32	69	10,72	114	13,78
25	6,45	70	10,80	115	13,84
26	6,58	71	10,88	116	13,90
27	6,71	72	10,95	117	13,96
28	6,83	73	11,03	118	14,02
29	6,95	74	11,10	119	14,08
30	7,07	75	11,18	120	14,14
31	7,19	76	11,25	121	14,20
32	7,30	77	11,53	122	14,26
33	7,42	78	11,40	123	14,32
34	7,53	79	11,47	124	14,38
35	7,64	80	11,53	125	14,43
36	7,75	81	11,62	126	14,49
37	7,85	82	11,69	127	14,55
38	7,96	83	11,76	128	14,61
39	8,06	84	11,83	129	14,66
40	8,16	85	11,90	130	14,72
41	8,27	86	11,97	131	14,78
42	8,37	87	12,04	132	14,83
43	8,47	88	12,11	133	14,89
44	8,56	89	12,18	134	14,94
45	8,66	90	12,25	135	15,00

Продолжение

$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с
136	15,06	184	17,51	232	19,66
137	15,11	185	17,56	233	19,71
138	15,17	186	17,61	234	19,75
139	15,22	187	17,65	235	19,79
140	15,28	188	17,70	236	19,83
141	15,33	189	17,75	237	19,87
142	15,38	190	17,79	238	19,92
143	15,44	191	17,84	239	19,96
144	15,49	192	17,89	240	20,00
145	15,55	193	17,93	241	20,04
146	15,60	194	17,98	242	20,08
147	15,65	195	18,03	243	20,12
148	15,71	196	18,07	244	20,17
149	15,76	197	18,12	245	20,20
150	15,81	198	18,17	246	20,25
151	15,86	199	18,21	247	20,29
152	15,92	200	18,26	248	20,38
153	15,97	201	18,30	249	20,37
154	16,02	202	18,33	250	20,41
155	16,07	203	18,39	251	20,45
156	16,12	204	18,44	252	20,49
157	16,18	205	18,48	253	20,53
158	16,23	206	18,53	254	20,57
159	16,28	207	18,57	255	20,62
160	16,33	208	18,62	256	20,66
161	16,38	209	18,66	257	20,70
162	16,43	210	18,71	258	20,74
163	16,48	211	18,75	259	20,78
164	16,53	212	18,80	260	20,82
165	16,58	213	18,84	261	20,86
166	16,63	214	18,89	262	20,90
167	16,68	215	18,83	263	20,94
168	16,73	216	18,97	264	20,98
169	16,78	217	19,02	265	21,02
170	16,83	218	19,06	266	21,06
171	26,88	219	19,10	267	21,09
172	16,93	220	19,15	268	21,13
173	16,98	221	19,19	269	21,17
174	17,03	222	19,24	270	21,21
175	17,08	223	19,28	271	21,25
176	17,13	224	19,32	272	21,29
177	17,18	225	19,36	273	21,33
178	17,22	226	19,40	274	21,37
179	17,27	227	19,45	275	21,41
180	17,32	228	19,49	276	21,43
181	17,37	229	19,54	277	21,47
182	17,41	230	19,58	278	21,52
183	17,46	231	19,62	279	21,56

$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с	$H_д$, Па	v, м/с
280	21,60	304	22,49	328	23,40
281	21,64	305	22,53	329	23,43
282	21,68	306	22,57	330	23,47
283	21,72	307	22,60	331	23,50
284	21,76	308	22,64	332	23,54
285	21,79	309	22,68	333	23,58
286	21,83	310	22,71	334	23,61
287	21,87	311	22,75	335	23,65
288	21,91	312	22,79	336	23,68
289	21,95	313	22,82	337	23,72
290	21,98	314	22,86	338	23,75
291	22,02	315	22,89	339	23,79
292	22,06	316	22,97	340	23,82
293	22,10	317	23,00	341	23,86
294	22,14	318	23,04	342	23,89
295	22,17	319	23,08	343	23,93
296	22,21	320	23,11	344	23,96
297	22,25	321	23,15	345	23,99
298	22,29	322	23,18	346	24,03
299	22,32	323	23,22	347	24,06
300	22,36	824	23,26	348	24,10
301	22,38	325	23,29	349	24,13
302	22,42	326	23,33	350	24,17
303	22,45	327	23,36		

Таблица для расчета круглых воздухопроводов (верхняя строка — расход воздуха, м³/ч, нижняя — потери давления на 1 м длины воздухопровода, Па)

v, м/с	$H_д$, Па	D, мм							
		80	100	110	125	140	160	180	200
		S, м²							
		0,0050	0,0078	0,0095	0,0123	0,0155	0,0201	0,0254	0,0314
6,0	22,0	109	170	205	265	332	434	549	678
		7,27	5,52	4,9	4,18	3,62	3,06	2,65	2,31
7,0	30,0	127	198	239	309	388	506	641	791
		9,78	7,34	6,51	5,55	4,82	4,07	3,52	3,08
8,0	39,2	145	226	274	353	443	579	733	904
		12,6	9,4	8,34	7,11	6,17	5,22	4,51	3,94
8,6	44,2	156	243	294	380	476	622	787	972
		14,3	10,8	9,55	8,14	7,06	5,97	5,1	4,51
9,0	49,6	163	254	308	397	499	651	824	1017
		15,35	11,7	10,4	8,86	7,69	6,5	5,62	4,91
9,6	56,3	174	271	328	424	532	695	879	1085
		17,4	13,2	11,7	10,0	8,68	7,34	6,34	5,54
10,0	61,2	181	283	342	442	554	724	916	1130
		18,85	14,3	12,7	10,8	9,36	7,97	6,84	5,98
10,2	63,6	185	288	349	450	565	738	934	1153
		19,5	14,8	13,1	11,2	9,72	8,22	7,1	6,21
10,4	66,2	189	294	356	459	576	752	952	1176
		20,25	15,4	13,6	11,6	10,1	8,53	7,37	6,44
10,6	68,6	192	300	363	468	587	767	971	1198
		21	15,9	14,1	12	10,4	8,84	7,64	6,67
10,8	71,2	196	305	369	477	598	781	989	1221
		21,65	16,5	14,6	12,5	10,8	9,15	7,91	6,91

11,0	74,1	199	311	376	486	609	796	1000	1243
		22,4	17,1	15,1	12,9	11,2	9,47	8,18	7,15
11,2	76,7	203	317	383	495	620	810	1026	1266
		23	17,6	15,7	13,4	11,6	9,8	8,47	7,4
11,4	79,5	207	322	390	503	631	825	1045	1289
		23,7	18,2	16,2	13,8	12	10,1	8,75	7,64
11,6	82,3	210	328	397	512	643	839	1062	1311
		24,45	18,8	16,7	14,3	12,4	10,4	9,04	7,9
11,8	85,2	214	334	404	521	654	854	1080	1334
		25,5	19,5	17,3	14,7	12,8	10,8	9,34	8,16
12,0	88,2	218	339	410	530	665	868	1099	1356
		26,5	20,1	17,8	15,2	13,2	11,2	9,64	8,42
12,2	91,0	222	345	417	539	676	883	1117	1379
		26,8	20,8	18,4	16,7	13,6	11,5	9,95	8,69
12,4	94,0	225	350	424	548	687	897	1135	1402
		27,3	21,4	19	16,2	14	11,9	10,3	8,96
12,6	97,1	228	356	431	556	698	911	1154	1424
		28,1	22,0	19,5	16,7	14,5	12,2	10,6	9,23
12,8	100,2	232	362	438	565	709	926	1172	1447
		29,4	22,7	20,1	17,2	14,9	12,6	10,9	9,51
13,0	103,5	235	367	445	574	720	940	1190	1470
		30,5	23,4	20,7	17,7	15,3	13	11,2	9,8
13,2	106,6	238	373	451	585	731	955	1209	1492
		31,4	24,1	21,4	18,2	15,8	13,4	11,5	10,1
13,4	109,8	243	379	458	592	742	969	1227	1515
		32,3	24,7	22	18,7	16,2	13,7	11,9	10,4
13,6	113,1	246	384	465	600	753	984	1245	1537
		33,6	25,4	22,6	19,3	16,7	14,1	12,2	10,7
13,8	116,5	250	390	472	609	764	998	1264	1560
		34,5	26,2	23,2	19,8	17,2	14,5	12,5	11
14,0	120	254	396	479	618	775	1013	1282	1584
		35,6	26,9	23,9	20,4	17,7	14,9	12,9	11,3

Продолжение

v, м/с	$H_д$, Па	D, мм							
		80	100	110	125	140	160	180	200
		S, м²							
		0,0050	0,0078	0,0095	0,0123	0,0153	0,0201	0,0254	0,0314
14,2	123,3	257	410	486	627	786	1027	1300	1605
		37	27,6	24,5	20,9	18,1	15,3	13,3	11,6
14,4	126,8	261	407	492	636	798	1042	1319	1628
		37,5	28,3	25,2	21,4	18,6	15,7	13,6	11,9
14,6	130,4	265	413	499	645	809	1056	1331	1650
		38,1	29,1	25,8	22	19,1	16,2	14	12,2
14,8	134	268	418	506	653	820	1071	1355	1673
		39	29,9	26,5	22,6	19,6	16,6	14,3	12,5
15,0	137,8	272	424	513	662	831	1085	1373	1696
		40,2	30,7	27,2	23,2	20,1	17	14,7	12,8
15,2	141,3	275	429	520	671	842	1100	1392	1718
		41,1	31,4	27,9	23,8	20,6	17,5	15,1	13,2
15,4	145	278	435	527	680	853	1114	1410	1741
		42,1	32,2	28,6	24,4	21,1	17,9	15,4	13,5
15,6	148,8	283	441	533	689	864	1129	1428	1173
		43,6	33	29,3	25	21,7	18,3	15,8	13,8
15,8	152,7	286	446	540	698	875	1143	1447	1786
		44,8	33,8	30	25,6	22,2	18,8	16,2	14,2
16,0	156,8	290	452	547	706	886	1157	1465	1809
		45,9	34,6	30,7	26,2	22,7	19,2	16,6	14,5
16,6	168,5	301	469	568	733	919	1201	1520	1876
		49,3	37,1	33	28,1	24,4	20,6	17,8	15,6
17,0	177	308	480	581	751	942	1230	1557	1922
		51,5	38,9	34,5	29,4	25,5	21,6	18,7	16,3
17,6	189,4	318	497	602	777	975	1273	1612	1990
		55,6	41,5	36,9	31,4	27,3	23,1	19,9	17,4

18,0	198,5	327 56,9	509 43,4	616 38,5	795 32,8	997 28,5	1302 24,1	1648 20,8	2035 18,2
18,6	211,5	338 60,4	527 46,2	636 41	821 34,9	1030 30,5	1346 25,6	1706 22,2	2103 19,4
19,0	221	344 62,9	537 48,1	650 42,7	839 36,4	1052 31,6	1375 26,7	1740 23,1	2148 20,2
20,0	245	363 69,1	565 53,1	684 47,1	883 40,2	1008 34,8	1447 29,5	1831 25,5	2261 22,2

Продолжение

v, м/с	$H_д$, Па	D, мм, S, м²							
		225	250	280	315	355	400	450	500
		0,0397	0,0491	0,0615	0,0779	0,0989	0,1256	0,159	0,196
10,0	61,2	1431 5,17	1766 4,54	2216 3,94	2804 3,4	3561 2,9	4522 2,52	5123 2,18	7065 1,91
10,2	63,6	1459 5,87	1802 4,71	2260 4,09	2860 3,53	3633 3,04	4612 2,62	5831 2,26	7206 1,98
10,4	66,2	1488 5,57	1837 4,88	2304 4,24	2916 3,66	3704 3,15	4702 2,72	5952 2,34	7348 2,05
10,6	68,6	1516 5,77	1872 5,06	2349 4,39	2972 3,79	3775 3,27	4793 2,81	6066 2,43	7489 2,13
10,8	71,2	1545 5,98	1908 5,24	2393 4,55	3028 3,93	3845 3,38	4883 2,91	6180 2,51	7630 2,2
11,0	74,1	1574 6,19	1943 5,42	2437 4,71	3084 4,06	3918 3,5	4974 3,01	6295 2,6	7772 2,28
11,2	76,7	1602 6,4	1972 5,61	3481 4,87	3141 4,2	3989 3,62	5064 3,12	6409 2,69	7913 2,36

Продолжение

v, м/с	$H_д$, Па	D, мм							
		225	250	280	315	355	400	450	500
		S, м²							
		0,0397	0,0491	0,0615	0,0779	0,0989	0,1256	0,159	0,196
11,4	79,5	1631 6,62	2014 5,8	2526 5,03	3197 4,35	4060 3,74	5155 3,22	6524 2,78	8054 2,44
11,6	82,3	1660 6,84	2049 6	2570 5,2	3253 4,49	4131 3,87	5245 3,33	6638 2,88	8195 2,52
11,8	85,2	1688 7,06	2084 6,19	2614 5,37	3309 4,64	4203 3,99	5335 3,44	6753 2,97	8337 2,6
12,0	88,2	1717 7,29	2120 6,39	2659 5,55	3365 4,79	4274 4,12	5426 3,55	6867 3,06	8478 2,69
12,2	91,0	1745 7,52	2155 6,59	2703 5,72	3421 4,94	4345 4,26	5516 3,67	6982 3,16	8619 2,77
12,4	94,0	1774 7,76	2190 6,8	2747 5,9	3477 5,09	4416 4,39	5601 3,78	7096 3,26	8761 2,86
12,6	97,1	1803 7,99	2225 7	2792 6,08	3533 5,25	4487 4,52	5697 3,89	7211 3,36	8902 2,95
12,8	100,2	1831 8,23	2261 7,22	2836 6,26	3589 5,41	4559 4,66	5788 4,01	7327 3,46	9043 3,03
13,0	103,5	1860 8,48	2296 7,44	2880 6,45	3645 5,57	4630 4,8	5878 4,13	7439 3,57	9125 3,13
13,2	106,6	1888 8,73	2331 7,65	2925 6,64	3701 5,73	4701 4,94	5969 4,25	6554 3,67	9326 3,22
13,4	109,8	1917 8,98	2367 7,87	2969 6,83	3757 5,9	4772 5,08	6059 4,37	7668 3,77	9467 3,31
13,6	113,1	1946 9,23	2402 8,09	3013 7,03	3814 6,06	4844 5,22	6149 4,5	7783 3,88	9608 3,4
13,8	16,5	1974 9,49	2437 8,32	3058 7,22	3870 6,23	4915 5,37	6240 4,62	7897 3,99	9750 3,5

14,0	119,9	2003	2473	3102	3926	4986	6330	8012	9891
		9,76	8,55	7,43	6,41	5,52	4,75	4,1	3,6
14,2	123,3	2032	2508	3146	3982	5057	6421	8126	10032
		10	8,78	7,63	6,58	5,67	4,88	4,21	3,69
14,4	126,8	2060	2543	3190	4038	5129	6511	8241	10174
		10,3	9,01	7,83	6,76	5,82	5,01	4,32	3,79
14,6	130,4	2089	2579	3235	4094	5200	6602	8355	10315
		10,6	9,26	8,04	6,94	5,98	5,15	4,44	3,9
14,8	134	2117	2614	3279	4150	5271	6692	8470	10456
		10,8	9,51	8,25	7,12	6,14	5,28	4,56	4
15,0	137,6	2146	2649	3323	4206	5342	6782	8584	10598
		11,1	9,75	8,46	7,3	6,29	5,42	4,68	4,1
15,6	148,8	2232	2755	3456	4374	5556	7054	8927	11021
		12	10,5	9,11	7,87	6,77	5,83	5,03	4,41
16,0	156,6	2289	2826	3545	4487	5698	7235	9156	11304
		12,6	11	9,56	8,26	7,11	6,12	5,28	4,63
16,6	168,5	2375	2932	3678	4655	5912	7506	9500	11728
		13,5	11,8	10,83	8,85	7,63	6,57	5,67	4,97
17,0	176,8	2432	3003	3766	4767	6054	7687	9729	12011
		14,1	12,4	10,7	9,27	7,99	6,88	5,94	5,2
17,6	189,4	2518	3109	3899	4935	6268	7958	11072	12434
		15,1	13,2	11,5	9,9	8,53	7,34	6,34	5,55
18,0	198,2	2575	3179	3988	5047	6411	8139	1030 1	12717
		15,7	13,8	12	10,3	8,91	7,67	6,62	5,8
18,6	211,5	2661	3285	4121	5217	6624	8410	10644	13141
		16,8	14,7	12,7	11	9,48	8,16	7,05	6,18
19,0	220,8	2718	3356	4210	5328	6767	8591	10873	13424
		17,5	15,3	13,3	11,5	9,88	8,51	7,34	6,44
19,6	235	2804	3462	4343	5496	6980	8862	11216	13847
		18,5	16,2	14,1	12,2	10,5	9,02	7,79	6,83
20,0	244,6	2861	3533	4431	5608	7123	9043	11445	14130
		19,3	16,9	14,7	12,6	10,9	9,38	8,1	7,1

а) Нормы расхода воздуха и потерь давления на аспирацию оборудования элеваторов

(по данным ЦНИИпромзернопроект)

Оборудование	Расход воздуха ($м^3/ч$) при производительности оборудования, т/ч					Потери давления в машине $H_м$, Па*
	50	100	175	350	500	
1	2	3	4	5	6	7
Насыпной лоток:						
приемных бункеров с железной дороги с двумя отсосами подсилосного ленточного транспортера, работающего с отключением	–	600×2	750×2	—	—	100
Остальные лотки ленточного транспортера:	400**	600**	800**	1000**	1200**	200
проходной	800	1 000	1 200	1500	1800	100
заглушенный	500	600	700	900	1100	100
Кожух ленточного транспортера (один отсос на длине кожуха 6 м)	240	320	400	640	960	30
Сбрасывающая коробка ленточного транспортера	500	650	800	900	1100	100
Сбрасывающая тележка надсилосного транспортера:						
а) при аспирации через напольный воздухопровод с клапанами с шириной ленты:						
500 мм	1750**	—	—	—	—	430
600 и 750 мм	—	2 000**	2000**	2000**	—	300
б) при щелевой аспирации с шириной ленты 650 мм:						
полезный расход	—	2 000	2000	2000	—	300
подсос в насадке	—	750	750	750	—	
подсос в щелевом воздухопроводе 25 $м^3/ч$ на 1 м						

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха ($м^3/ч$) при производительности оборудования, т/ч					Потери давления в машине $H_м$ · Па*
	50	100	175	350	600	
1	2	3	4	5	6	7
Башмак нории:						
проходной	700	900	1400	2000	2500	120***
заглушенный	400	600	900	1500	2000	120
Головка нории	600	700	900	1200	2000	120
Нория НЦТ-2×100:						
башмак	—	2×900	—	—	—	120***
головка	—	2×700	—	—	—	120
Ковшовые весы грузоподъемностью 20 т:						
весовой ковш	—	2 000	2000	—	—	30
выпуск из ковша	—	600	600	—	—	180
надвесовой бункер	—	600	700	—	—	100*4
Ковшовые весы грузоподъемностью 70 т:						
весовой ковш	—	—	—	3000	3000	30
выпуск из ковша	—	—	—	1000	1000	180
надвесовой бункер	—	—	—	1000	1070	100*4
Автоматические весы ДН-500:						
кожух весового ковша	500	—	—	—	—	100
подвесовой бункер	1 000	—	—	—	—	100
Автоматические весы ДН-1000-2:						
кожух весового ковша		600	—		—	100
подвесовой бункер	—	1 400	—	—	—	100
Автоматические весы ДН-2000:						
кожух весового ковша	—	—	800	800	—	20
подвесовой бункер	—	—	3200	3200	—	20
Автоматические весы ДН-4000:						
кожух весового ковша	—	—	800	800	800	20
подвесовой бункер	—	—	3200	3200	3200	20
Выпуск зерна из ковшовых весов в самотечную трубу	300	600	800	1000	1200	20
Поворотная труба ВШ-7 и ВШ-8 при аспирации через подпятник	—	600	600	—	—	350

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха ($м^3/ч$) при производительности оборудования, т/ч					Потери давления в машине $H_м$ · Па*
	50	100	175	350	500	
1	2	3	4	5	6	7
Бункер надсепараторный, подсепараторкый, надсушильный. отпускной силос и т. п.	450	600*5	900*5	1200*5	—	100
Бункера для приемки зерна с железной дороги	–	6 000	6000	6000	—	50
Напольный отсос ∅200 мм от мусоропровода	1 800	1 800	1800	1800	1800	200
Шнек диаметром от 250 до 320 мм	500	—	—	—	—	100
Цепной транспортер	800	800	—	—	—	100
Сепаратор:						
ЗСМ-100	—	21 600	—	—	—	240
ЗСМ-50	10 800	10 800	—	—	—	240
ЗС-50 –	—	—	—	—	—	—
первая продувка	5 700	5 700	—	—	—	240
вторая продувка	5 700	5 700	—	—	—	240
ЗСМ-20	11 000	—	—	—	—	310
ЗСМ-10	—	—	—	—	—	—
первая продувка	4 600	—	—	—	—	240
вторая продувка	4 800	—	—	—	—	240
ЗСМ-5	3 000	—	—	—	—	240

* Максимально допустимую скорость воздуха в плоскости входа в коллектор принимают 2 м/с для зерна, 0,8 для муки и 0,5 м/с для комбикормов.

** Учитывают также подсос в каждом клапане, равный 100 $м^3/ч$.

*** При аспирации сбрасывающей коробки через башмак норин потери давления принимают 150 Па.

*4 При аспирации головки норин и весового ковша через бункер потери давления в точке подсоединения конфузора к бункеру норин производительностью 100 и 175 т/ч принимают 230 Па, норин производительностью 350 т/ч — 250 Па.

*5 Прибавляют также 300 $м^3/ч$ на каждый бункер, соединяемый отверстием в стенке с аспирируемым бункером.

б) Нормы на аспирацию оборудования зерноочистительных отделений мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов (по данным ЦНИИпромзернопроект)

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине* $H_м$, Па
1	2	3
Автоматические весы:		
Д-20	480	50
Д-50	720	50
Д-100-3	900	50
ДМ-20	300	30
ДЛ-80-2	480	50
Сепаратор:		
ЗСМ-2,5, ПОП-2,5	1·920	210
ЗСМ-5	3 000	240
ЗСМ-10	9 000	240
ЗС-1,5	360	100
ЗСП-2,5	600	100
ЗСП-5	720	100
ЗСП-10	900	100
ЗСМ-20 на комбикормовых заводах	9 000	240
ЗСМ-50 на комбикормовых заводах	10 800	300
Триер дисковый ЗТК-5Р, ЗТО-5Р, ЗТО-5М, ЗТК-5И, ЗТО-5И	360	80
Триер цилиндрический УТК-200, БТС-120	360	50
Камнеотделительная машина:		
ЗКГ	480***	60
ЗК-15М	1 080	60
БОК на четыре приема	900	60
БМК-15	(225×4) 5 700	
Магнитная колонка (1 м длины):		
МА, МК	240	80
БМК-3-7	480	80
Электромагнитный сепаратор:		
ДЛ1-С, ЭМ-101	300	50
СЭ-3М, БСЭ	600	100
Обоечная машина:		
ЗНМ-2,5	1 800	200
ЗНМ-5	3 000	200
ЗОН-5:		
на пшенице	3 600	400
на ржи	4 500	625
ЗНП-1,5, ЗНП-2,5, ЗНП-5, ЗНП-5, *ЗМП-10, ЗМП-10*	Расход воздуха принимают по расчету пневмотранспорта	

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине $H_м$, Па
1	2	3
Аспирационная колонка:		
АК-500 шириной 500 мм	720	150
АК-1000 шириной 1000 мм	1 440	150
А1-БКА	3 000	250
Щеточная машина:		
БЩМ-5 (ЗЩГ-5)	1 500	250
БЩМ-10 (ЗЩГ-10)	3 000	250
Бурат ЦМБ-1, БР-1А	360	50
при контроле лузги	480	66
Закрома для неочищенного зерна и отволаживания (3—4 закрома вместе)	240	50
Шнеки и безроликовые транспортеры	240	50
Цепные транспортеры	600	100
Нория 1-10 (НЦГ-10):		
головка	180	60
башмак	180	60
Нория 1-2×10 (НЦГ-2×10)	240	60
головка		
башмак	240	60
Нория 1-20 (НЦГ-20):		
головка	300	150
башмак	300	150
Нория 1-2×20 (НЦГ-2×20):		
головка	360	150
башмак	360	150
Нория НЦГ-50:		
головка	480	80
башмак	600	60
Нория НЦГ-100:		
головка	720	80
башмак	900	60
Сбрасывающая коробка ленточного транспортера с шириной ленты 500 и 600 мм	600	80
Крупосортировочная машина:		
БКГ	450	50
КСЗ-2	960	100
Сушилка вертикальная паровая ВС-10-49 с числом секций:		
восемь	3 600	300
десять	4 200	300
двенадцать	5 100	300
четырнадцать	6 000	300
Охладительная колонка ОК	3 600	300
Охладитель ДГ-II	240	60

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине* $H_м$, Па
1	2	3
Рассев:		
ЗРМ (на один корпус)	360	90
ЗРШ-1-4	480	60
Воздушно-водяной кондиционер:		
ЗКУ-6	24 000	400
ЗК-10	29 000	400
Увлажнительная машина ЗУМ-1 и ЗУМ-2	240	100
Влагосниматель:		
В-5	9 000	300
В-10	15 240	300
Шелушильно-шлифовальная машина А1-ЗШН-3 без встроенного вентилятора	600	500
Просеивающая машина ДПМ	720	60
От кожуха ленты транспортера на длине 5—6 м	240	30

в) Нормы на аспирацию оборудования размольных, шелушильных и выбойных отделений мукомольных, крупяных и комбикормовых заводов (по данным ЦНИИпромзернопроект)

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине $H_м$, Па*
1	2	3
Вальцовый станок ЗМ на 1 м длины рабочих вальцов:		
для I и II драных систем, 1, 2, 3, 4 и 5-й размольных систем при сортовых помолах пшеницы:		
при нижней аспирации	360	100
при верхней аспирации	360	150
для всех остальных систем сортовых помолов и для всех систем обойных помолов пшеницы и ржи:		
при нижней аспирации	480	200
при верхней аспирации	480	270
Молотковая дробилка:		
ДДМ, ДДЗ, РДБ-3000, ДМ-440У при механическом транспортере	360	100
при пневмотранспорте	1600	По расчету
МД-610-1	480	100
ДДО, ДМ		

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха, $м^3/ч$	Потери давления в машине* $H_м$, Па
1	2	3
при механическом транспортере	300	100
при пневмотранспорте	500	по расчету
БДМ, БДМ-А	240	100
ДДК с вентилятором	1 680	450
ДДК без вентилятора	180	440
С-218	900	80
Плющильный станок	720	150
Шелушитель ЗШН	1 080	180
Шелушильный постав:		
Ø 1250 мм	900	120
Ø 1400 мм	1 200	120
Вальцедековый станок СВУ-2	600	150
Двухдековый станок 2ДШС-2А, 2ДШС-2Б	600	150
Шелушитель:		
ЗРД-2,5 и ЗМШ	900	200
БШР	2 100	200
Голлендр порционного действия:		
одинарный	1 500	150
двойной	2 400	150
Шлифовальная машина БШМ	1 200	150
Шлифовально-полировальная машина производства ВНР	480	160
Жмыхоломач ЖЛ-1	900	80
Дежерминатор	1200	150
Вымольные бичевые машины:		
ЗВО	360	250
ГПМ-3	480	250
Центробежный бурат (центрифугал) ЗЦ-1Б, ЗЦ-2Б	300	60
Щеточная машина ЩМА	480	180
Рассев:		
ЗРМ		
для I и II драных систем, 1, 2, 3, 4 и 5-й размольных и шлифовочных систем при сортовых помолах пшеницы		
новая аспирационная коробка	480	60
старая коробка	480 (120×4)	180
для остальных систем при сортовых помолах и для всех систем обойных помолов пшеницы и ржи	600 (150×4)	250
ЗРШ-6	720 (120×6)	60
ЗРШ-1-4	480 (120×4)	60

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине $H_м$, Па*
1	2	3
Ситовеечная машина:		
МСО		
на крупной крупе	4 500	250
на средней крупе	3 600	200
на мелкой крупе и дунстах	2 400	130
ЗМС-2-2, ЗМС-2-4 (на ½ машины)	2 400	200
на крупной крупе	2 400	200
на средней, мелкой крупе и дунстах	1 800	200
ЗМС-1-4 (на ½ машины)		
на крупной крупе	1 320	200
на средней, мелкой крупе и дунстах	960	200
Крупосортировочные машины:		
КСЗ-2, БКГ	960	100
КГМ-2 (на один кузов)	180	50
Крупоотделитель БКО	600	80
Падди-машина:		
ТА-1×10-Е, ТА-2×10-Е, ТА-3×10Е	318	50
ТА-3×16	636	50
Аспирационная колонка шириной 500 мм:		
для провеивания продуктов шелушения и контроля крупы	720	200
для контроля лузги	1 200	250
Пневмосортировальный стол (фирмы «Окрим»)	2 700	—
Ленточная сушилка для хлопьев	600	50
Сушильный агрегат для хлопьев:		
сушилка	1 680	50
аспирационная колонка	720	200
Электромагнитный сепаратор ЭМ-101, ЭМ-120	300	100
Магнитная колонка МК, МКЛ и МА при ширине до 500 мм	180	80
Автоматические весы:		
ДМ-20	300	30
ДМ-100-2	480	30
ДЛ-80-2	600	80
ДК-20	300	50
ДК-40, ДК-70, ДК-100	480	50
Многокомпонентные весы:		
6ДК-100, 5ДК-200	300	30
5ДК-500	480	50
16ДК-1000	720	60
10ДК-2500	900	80

Продолжение

Оборудование	Расход воздуха, м³/ч	Потери давления в машине $H_м$, Па*
1	2	3
Весы порционные:		
ДМ-20	300	30
Д-20	480	50
Д-50	720	50
ДМ-100-2, ДЛ-80-2	480	30
Д-100-3	900	50
ДН-500, ДН-1000	1200	60
Весовыбойный аппарат ДВМ-100:		
надвесовой бункер	240	30
весовой механизм	480	30
аспирационный кожух для мешка	1080	150
Весовыбойный аппарат ДВК-80:		
надвесовой бункер	180	30
весовой механизм	240	30
аспирационный кожух для мешка	900	150
Весовыбойный аппарат для комбикормов:		
ДВК-80	1200	150
ДВМ-100, ДВМ-75	2100	150
Дозаторы ДП-1, ДП-2, ДТ, ДДТ	300	100
Измельчитель ДГ-III	360	40
Пресс ДГ-1	360	60
Смесители:		
2СМ-1	480	120
ВШС-2	180	50
СГК-1	360	60
МСН	300	80
А9-ДСГ-0,1	240	60
А9-ДСГ-0,2	300	60
А9-ДСГ-0,5	300	60
А9-ДСГ-1,5	360	60
А9-ДСГ-2,5	420	60
Транспортер цепной скребковый на 10 м длины на комбикормовых заводах:		
ТСТ-100/25	360	100
ТСТ-100/65; Т1/ТСЦ-25/15, 25, 35, 50, 50/15, 100/15, 75	600	100
ЦТ-12	300	60
ЦТ-30	480	60
ТТБ-50	600	60
Закрома для муки и отрубей (от группы три-четыре закрома)	240	50

* Максимально допустимая скорость воздуха в плоскости входа в конфузор для мукомольных и крупяных заводов 0,8 м/с, для комбикормовых заводов 0,5 м/с.

Взрывоопасная концентрация пыли и пылевидных продуктов

Наименование	Показатели			Минимальная температура, °С			Нижний предел взрывоопасной концентрации, г/м³
	влажность, %	зольность, %	плотность насыпи, кг/м³	искрообразования	вспышки	самовоспламенения	
1	2	3	4	5	6	7	8
Шрот:							
подсолнечниковый	8,39	7,45	—	550	700	775	7,6
хлопковый	7,63	71,00	—	355	850	875	10,1
Пыль:							
мельничная серая пшеничных мелких отрубей	8,35	9,45	450	355	470	650	10,1
пылеосадочных камер готовой продукции комбикормового завода	13,42	6,27	490	—	625	800	10,1
от очистки мешков пшеничных крупных отрубей	10,45	33,45	420	—	725	800	12,6
Сено заливное измельченное	11,34	7,85	160	470	650	725	12,6
Зерновые пшеничные отходы	13,62	8,82	540	—	525	600	15,1
Зерно кукурузы измельченное	9,50	4,83	350	355	675	850	42,8
Отруби:	6,40	12,10	—	355	525	900	12,6
пшеничные мелкие	9,90	9,05	—	440	550	700	20,2
ржаные	9,50	1,75	—	440	675	850	22,7
Мука:	9,36	4,26	—	470	750	825	17,6
ячменная	10,24	5,70	—	500	675	800	52,9
пшеничная II сорта	11,28	2,54	—	415	650	750	32,8
	11,05	1,49	—	442	550	825	35,3

Продолжение

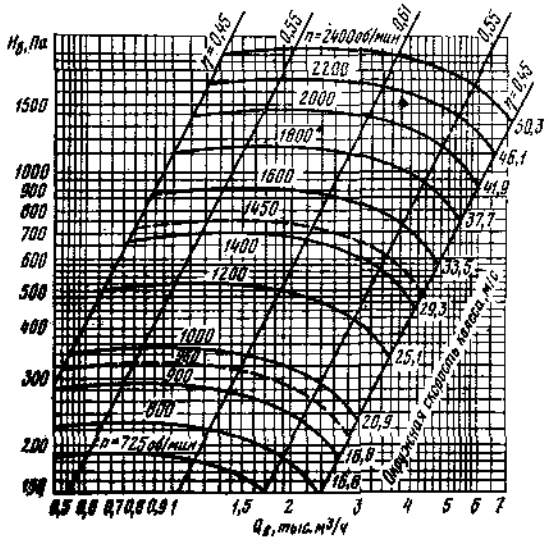
Наименование	Показатели			Минимальная температура, °С			Нижний предел взрывоопасной концентрации, г/м³
	влажность, %	зольность, %	плотность насыпи, кг/м³	искрообразования	вспышки	самовоспламенения	
1	2	3	4	5	6	7	8
Элеваторная пыль:							
подсилосного этажа	—	14,0	—	—	—	—	41,0
весовых этажей	—	11,50	—	—	—	—	54,0
распределительных этажей	—	13,00	—	—	—	—	87,0

Примечания. 1. Верхний предел взрывоопасной концентрации для всех видов пыли ориентировочно принимают 2000 г/м³. 2. Приведено по данным Центрального научно-исследовательского института комбикормовой промышленности, Московского горного института, Центрального научно-исследовательского института противопожарной обороны и Московского инженерно-строительного института им. В. В. Куйбышева.

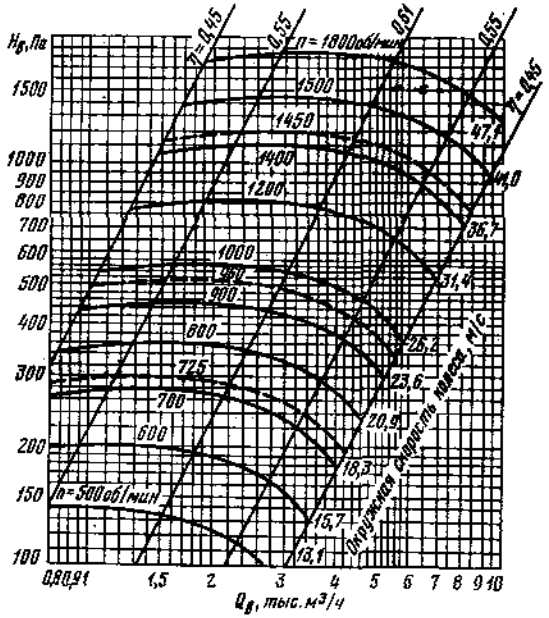
Объем влажного воздуха, м³ на 1 кг сухого воздуха при давлении 99,31 кПа (745 мм рт. ст.)

Температура, °С	Влажность, %												
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	0	°, С
—15	0,7472	0,7470	0,7469	0,7468	0,7467	0,7465	0,7464	0,7463	0,7462	0,7460	0,7460	0,7459	—15
—10	0,7624	0,7624	0,7620	0,7618	0,7616	0,7614	0,7612	0,7610	0,7608	0,7606	0,7605	0,7604	—10
—5	0,7780	0,7776	0,7773	0,7770	0,7767	0,7764	0,7761	0,7758	0,7754	0,7751	0,7750	0,7748	—5
0	0,7941	0,7937	0,7932	0,7927	0,7922	0,7917	0,7912	0,7907	0,7902	0,7897	0,7895	0,7893	0
5	0,8108	0,8101	0,8094	0,8087	0,8080	0,8073	0,8065	0,8058	0,8051	0,8044	0,8041	0,8037	5
10	0,8284	0,8274	0,8263	0,8253	0,8243	0,8233	0,8222	0,8212	0,8202	0,8192	0,8187	0,8182	10
15	0,8472	0,8457	0,8442	0,8427	0,8413	0,8398	0,8384	0,8369	0,8355	0,8340	0,8333	0,8326	15
20	0,8675	0,8654	0,8633	0,8613	0,8592	0,8572	0,8551	0,8531	0,8511	0,8491	0,8481	0,8471	20
25	0,8899	0,8870	0,8841	0,8812	0,8783	0,8755	0,8727	0,8698	0,8670	0,8643	0,8629	0,8615	25
30	0,9151	0,9110	0,9070	0,9030	0,8990	0,8951	0,8912	0,8873	0,8835	0,8797	0,8778	0,8760	30
35	0,9438	0,9382	0,9327	0,9272	0,9217	0,9164	0,9111	0,9058	0,9006	0,8955	0,8929	0,8904	35
40	0,9775	0,9697	0,9620	0,9545	0,9417	0,9398	0,9326	0,9265	0,9189	0,9116	0,9082	0,9049	40
45	1,0175	1,0068	0,9963	0,9860	0,9759	0,9660	0,9563	0,9468	0,9375	0,9283	0,9238	0,9193	45
50	1,0662	1,0513	1,0368	1,0228	1,0090	0,9967	0,9827	0,9700	0,9576	0,9455	0,9396	0,9338	50
55	1,1268	1,1060	1,0860	1,0667	1,0480	1,0300	1,0125	0,9957	0,9794	0,9635	0,9568	0,9482	55
60	1,2041	1,1748	1,1468	1,1201	1,0946	1,0702	1,0469	1,0245	1,0030	0,9824	0,9725	0,9627	60
65	1,3059	1,2636	1,2239	1,1866	1,1514	1,1170	1,0870	1,0573	1,0292	1,0025	0,9896	0,9771	65
70	1,4448	1,3820	1,3240	1,2113	1,2222	0,1754	1,1345	1,0951	1,0583	1,0239	1,0075	1,0016	70
75	1,6441	1,5466	1,4600	1,3824	1,3126	1,2494	1,1919	1,1394	1,0912	1,0469	1,0261	1,0060	75
80	1,9500	1,7885	1,6513	1,5336	1,4313	1,3417	1,2625	1,1920	1,1289	1,0720	1,0456	1,0205	80
85	2,4762	2,1759	1,9491	1,7502	1,5938	1,4628	1,3515	1,2558	1,1725	1,0995	1,0662	1,0349	85
90	3,5664	2,8824	2,4176	2,0812	1,8264	1,6268	1,4662	1,3342	1,2237	1,1300	1,0882	1,0494	90
95	7,1448	4,5662	2,3529	2,6476	2,1863	1,8612	1,6197	1,4332	1,2849	1,1641	1,1117	1,0638	95
99,4	—	10,9192	5,4498	3,6277	2,7167	2,1700	1,8055	1,5451	1,3482	1,1980	1,1341	1,0765	99,4
100	—	10,9251	5,4554	3,6318	2,7198	2,1726	1,8078	1,5473	1,3519	1,1999	1,1359	1,0783	100

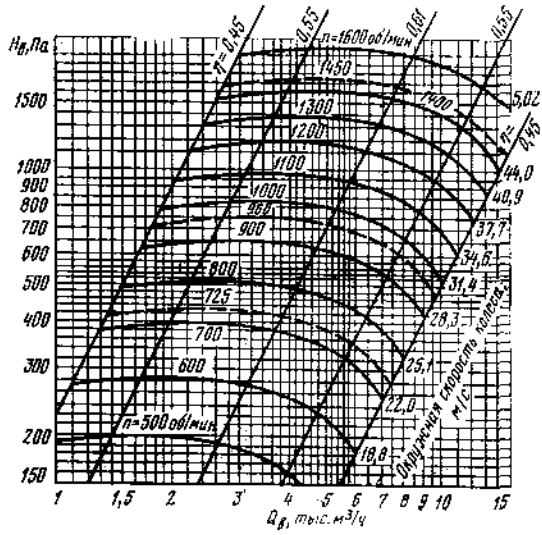
Характеристика вентиляторов



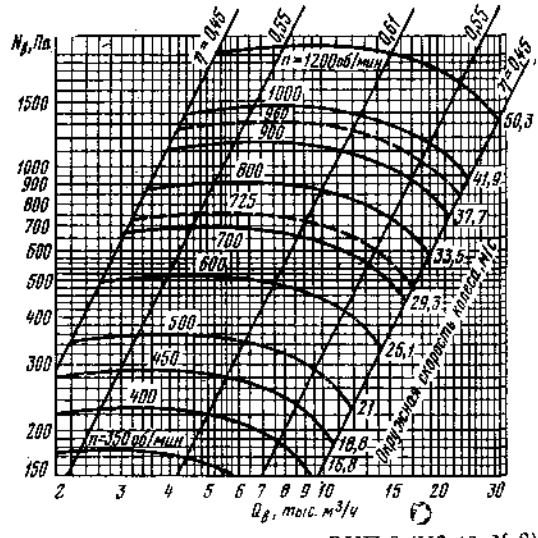
Характеристика вентилятора ВЦП-4 (ЦС-46 № 4).



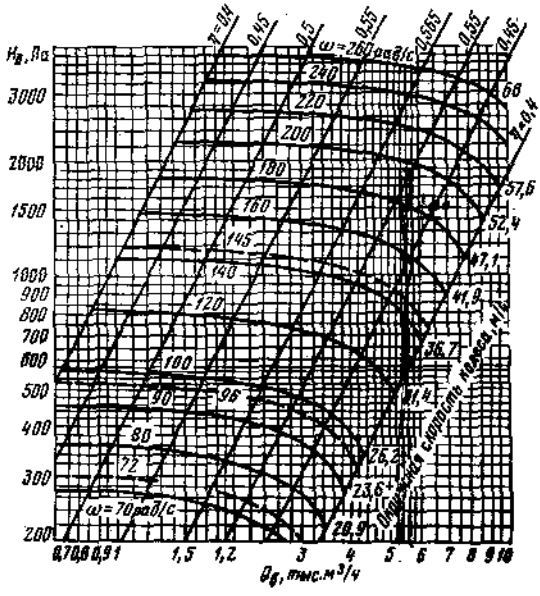
Характеристика вентилятора ВЦП-5 (Ц6-46 № 5)



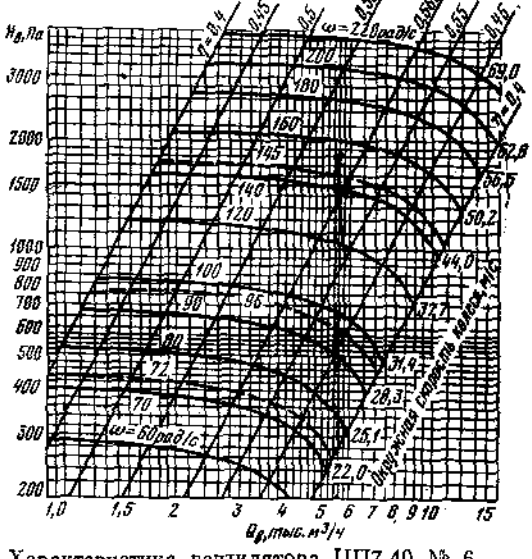
Характеристика вентилятора ВЦП-6 (Ц6-46 № 6)



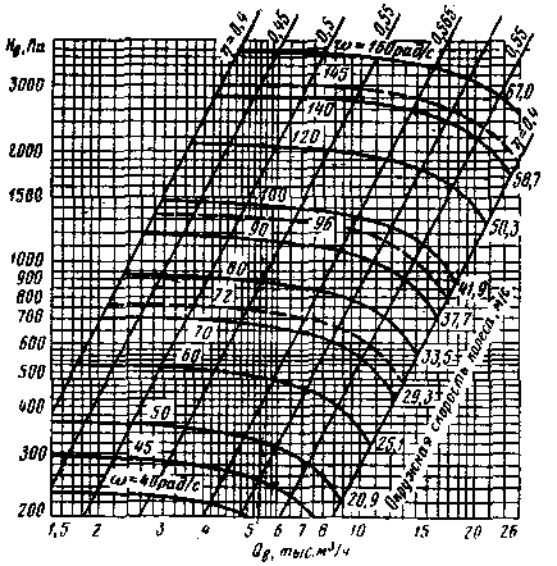
Характеристика вентилятора ВЦП-8 (Ц6-46 № 8).



Характеристика вентилятора ЦП7-40 № 5.



Характеристика вентилятора ЦП7-40 № 6.



Характеристика вентилятора ЦП7-40 № 8.

Комплектация вентилятора ВЦП (Ц6-46)

Вентилятор	Мощность электродвигателя, кВт	Шкив на вентиляторе	Шкив на электродвигателе	Длина ремня, мм
ВЦП-3	2,2	2Б-160	2Б-112	1400
			2Б-125	
			2Б-140	
ВЦП-4	3,0	2Б-200	2Б-112	1600
			2Б-125	
			2Б-140	
			2Б-160	
ВЦП-5	4,0	3Б-160	3Б-140	
			3Б-160	
			3Б-180	
			3Б-200	
	7,5	4Б-160	4Б-160	2240
			4Б-180	
			4Б-200	
ВЦП-6	5,5	4Б-160	4Б-125	
			4Б-140	
			4Б-160	
			4Б-180	
	7,5	4Б-160	4Б-140	2240
			4Б-160	
			4Б-180	
	10	4Б-160	4Б-140	
			4Б-160	
			4Б-180	
			6Б-125	
ВЦП-8	10	6Б-200	6Б-140	
			6Б-160	
	13	6Б-200	6Б-140	
			6Б-160	2500
	22	8Б-200	8Б-160	

Комплектация вентилятора *ЦП7-40*

Обозначение	Вентилятор ЦП7-40			Клиноременная передача			Электродвигатель					Обозначение виброизолирующего основания
								АО2-УП		А2-УП		
	номер	исполнение	n, об/мин	шкивы вентилятора	шкивы электродвигателя	сечение или стандартная длина	мощность, кВт	тип	n, об/мин	тип	n, об/мин	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Р5-1а			1080	5А-180	3А-140	А-1800	2,2	А02 31-4	1420	—	—	3Д091а
Р5-1б			1080		2А-140	А-1800	1,5	А02 22-4	1420	—	—	2Д091а
Р5-2а			1235		3А-160	А-1900	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д091б
Р5-2б			1235	5А-180	3А-160	А-1900	2,2	А02 31-4	1420	—	—	3Д091б
Р5-2в			1235		2А-160	А-1900	1,5	А02 22-4	1420	—	—	2Д091а
Р5-3а			1410		4А-180	А-2000	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д091а
Р5-3б			1410		4А-180	А-2000	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д091а
Р5-3в			1390	5А-180	3А-180	А-1900	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д091б
Р5-3г			1390		2А-180	А-1900	2,2	А02 31-4	1420	—	—	3Д091а
Р5-4а			1570		5А-200	А-2000	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д091б
Р5-4б			1570		5А-200	А-2000	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д091а
Р5-4в			1570	5А-180	4А-200	А-2000	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д091а
Р5-4г			1545		3А-200	А-1900	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д091б
Р5-5а			1780		4Б-224	Б-2120	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д091а
Р5-5б			1755	5Б-180	4Б-224	Б-2000	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д091б
Р5-5в			1755		4Б-224	Б-2000	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д091а
Р5-5г	5	6	1755		4А-224	А-2000	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д091а

Р5-5д			1730	5Г-180	3А-224	А-2000	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д091б
Р5-6а			1985		5Б-250	Б-2240	13,0	А02 61-4	1460	А2 61-4	1450	6Д091б
Р5-6б			1985		5Б-250	Б-2120	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д091а
Р5-6в			1960	5Б-180	4Б-250	Б-2120	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д091б
Р5-6г			1960		5Б-250	Б-2120	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д091а
Р5-6д			1960	5А-180	4А-250	А-2120	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д091а
Р5-7а			2225	7Б-180	7Б-280	Б-2240	17,0	А02 62-4	1460	А2 62-4	1450	7Д091а
Р5-7б			2225		5Б-280	Б-2240	13,0	А02 61-4	1460	А2 61-4	1450	6Д091б
Р5-7в			2225	5Б-180	5Б-280	Б-2140	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д091а
Р5-7г			2195		5Б-280	Б-2120	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д091б
Р5-7д			2195		3Б-280	Б-2120	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д091а
Р5-8а			2505	ГБ-180	7Б-315	Б-2360	17,0	А02 62-4	1460	А2 62-4	1450	7Д091а
Р5-8б			2505		6Б-315	Б-2240	13,0	А02 61-4	1460	А2 62-4	1450	6Д091б
Р5-8А			2505	5Б-180	5Б-315	Б-2240	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д091а
Р5-8г			2470		5Б-315	Б-2240	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д091б
Р6-1а	6	6	870	4Б-224	3В-140	Б-2000	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д092б
Р6-1б			870		2Б-140	Б-2000	2,2	А02 31-4	1420	—	—	3Д092а
Р6-2а			1005		3Б-160	Б-2120	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д092а
Р6-2б			995	4Б-224	2Б-160	Б-2120	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д092а
Р6-2в			995		2Б-160	Б-2120	2,2	А02 31-4	1420	—	—	3Д092а
Р6-3а			1135		3Б-180	Б-2240	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д092а
Р6-3б			1135	4Б-224	3Б-180	Б-2240	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д092а
Р6-3в			1120		3Б-180	Б-2120	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д092б
Р6-4а			1260		4Б-200	Б-2240	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д092б
Р6-4б			1260	4Б-224	3Б-200	Б-2240	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д092а
Р6-4в			1260		3Б-200	Б-2240	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д092а

Продолжение

Обозначение	Вентилятор ЦП7-40			Клиноременная передача			Электродвигатель					Обозначение виброизолирующего основания
	номер	исполнение	n, об/мин	шкивы вентилятора	шкивы электродвигателя	сечение и стандартная длина	мощность, кВт	А02-УП тип	n, об/мин	А2-УП тип	n, об/мин	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Р6-5а			1430		4Б-224	Б-2360	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д092а
Р6-5б			1410	4Б-224	4Б-224	Б-2360	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д092б
Р6-5в			1410		3Б-224	Б-2360	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д092а
Р6-6а			1600		7Б-224	Б-2360	17,0	А02 62-4	1460	А2 62-4	1450	7Д092а
Р6-6б			1600	7Б-200	7Б-224	Б-2240	13,0	А02 61-4	1460	А2 61-4	1450	6Д092б
Р6-6в			1600		5Б-224	Б-2240	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д092а
Р6-6г			1575	4Б-224	4Б-250	Б-2360	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д092б
Р6-7а			1790	8Б-200	8Б-250	Б-2360	22,0	А02 71-4	1460	А2 71-4	1450	7Д092б
Р6-7б			1790		8Б-250	Б-2360	17,0	А02 62-4	1460	А2 62-4	1450	7Д092а
Р6-7в			1790	7Б-200	7Б-250	Б-2240	13,0	А02 61-4	1460	А2 61-4	1450	6Д092б
Р6-7г			1790		5Б-250	Б-2240	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д092а
Р6-8а			2005		8Б-280	Б-2500	22,0	А02 71-4	1460	А2 71-4	1450	7Д092б
Р6-8б			2005	8Б-280	7Б-280	Б-2500	17,0	А02 62-4	1460	А2 62-4	1450	7Д022а
Р6-8в			2005	7Б-200	6Б-280	Б-2360	13,0	А02 61-4	1460	А2 61-4	1450	6Д092б
Р8-1а			715		4Б-160	Б-2650	7,5	А02 51-4	1440	—	—	5Д093б
Р8-1б	8	6	715	6Б-315	4Б-160	Б-2650	5,5	А02 42-4	1440	—	—	5Д093а
Р8-1в			715		3Б-160	Б-2650	4,0	А02 41-4	1440	—	—	4Д093а
Р8-1г			705		2Б-160	Б-2650	3,0	А02 32-4	1420	—	—	3Д093б
Р8-2а			820		5Б-180	Б-2800	10,0	А02 52-4	1460	—	—	6Д093а

i—d-таблица воздуха (давление В-993 гПа 745 мм рт. ст.); i — **энтальпия, кДж/кг**; d — **влагосодержание, ‰**

Температура, t	Относительная влажность φ, %											
	100		90		80		70		60		50	
	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d
—15	—12,48	1,04	—12,73	0,94	—13,00	0,83	—13,24	0,73	—13,52	0,62	—13,76	0,52
—10	—5,98	1,63	—6,38	1,47	—6,80	1,30	—7,20	1,14	—7,60	0,98	—7,99	0,82
—5	+1,27	2,52	+0,65	2,27	0,02	2,02	—0,62	1,76	—1,25	1,51	—1,87	1,26
0	9,63	3,85	8,65	3,46	7,68	3,07	6,73	2,69	5,75	2,30	4,80	1,92
5	18,84	5,51	17,43	4,95	16,05	1,40	14,67	3,85	13,27	3,29	11,89	2,74
10	29,63	7,78	27,66	7,00	25,67	6,21	23,71	5,43	21,74	4,65	19,78	3,87
15	42,50	10,86	39,72	9,76	36,94	8,66	34,16	7,56	31,41	6,47	28,65	5,38
20	58,12	15,00	54,21	13,46	50,35	11,94	46,50	10,42	42,66	8,91	38,86	7,41
25	77,28	20,50	71,91	18,39	66,56	16,29	61,27	14,21	56,00	12,14	50,75	10,08
30	101,12	27,78	93,73	24,89	86,42	22,03	79,16	19,19	71,95	16,37	64,85	13,59
35	130,98	37,37	120,88	33,43	110,90	29,54	101,05	25,70	91,30	21,90	81,66	18,14
40	168,80	49,98	155,00	44,62	141,44	39,35	128,08	34,16	114,92	29,05	102,00	24,03

Продолжение

Температура, t	Относительная влажность φ, %											
	40		30		20		10		5		0	
	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d
—15	—14,01	0,42	—14,28	0,31	—14,53	0,21	—14,80	0,10	—14,93	0,05	—15,05	0
—10	—8,42	0,65	—8,81	0,49	—9,21	0,33	—9,63	0,16	—9,83	0,08	—10,03	0
—5	—2,49	1,01	—3,14	0,75	—3,76	0,50	—4,39	0,25	—4,69	0,13	—5,01	0
0	3,83	1,53	2,88	1,15	1,93	0,77	0,95	0,38	0,48	0,19	0,00	0
5	10,51	2,19	9,13	1,64	7,75	1,09	6,39	0,55	5,69	0,27	5,01	0
10	17,81	3,09	15,85	2,31	13,90	1,54	11,97	0,77	10,99	0,38	10,03	0
15	25,92	4,30	23,19	3,22	20,46	2,14	17,75	1,07	16,39	0,53	15,05	0
20	35,05	5,91	31,27	4,42	27,52	2,94	23,79	1,47	21,91	0,73	20,06	0
25	45,56	8,04	40,39	6,01	35,25	3,99	30,16	1,99	27,61	0,99	25,09	0
30	57,77	10,82	50,76	8,08	43,81	5,36	36,93	2,67	33,51	1,33	30,11	0
35	72,14	14,43	62,73	10,76	53,42	7,13	44,24	3,55	39,67	1,77	35,13	0
40	89,24	19,07	76,70	14,20	64,35	9,40	52,14	4,66	46,12	2,32	40,15	0

Продолжение

Температура, t	Относительная влажность φ, %											
	100		90		80		70		60		50	
	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d
45	217,20	66,57	198,36	59,28	179,91	52,14	161,85	45,15	144,17	38,31	126,83	31,60
50	279,44	88,42	253,64	78,47	228,54	68,79	204,14	59,38	180,36	50,21	157,23	41,29
55	361,24	117,60	325,33	103,80	290,98	90,60	257,83	77,86	225,85	65,57	194,97	53,70
60	469,41	156,64	419,52	137,54	372,01	119,35	326,69	102,00	283,44	85,44	242,09	69,61
65	616,53	210,31	545,35	183,15	478,62	157,69	415,92	133,77	356,92	111,26	301,07	89,95
70	822,78	285,99	718,12	246,21	622,14	209,73	533,79	176,15	452,26	145,16	376,40	116,33
75	1124,23	397,29	963,40	336,37	820,52	282,25	692,74	233,85	577,80	190,31	473,91	150,96
80	1594,47	571,34	1330,16	471,60	1106,13	387,06	913,92	314,53	747,21	251,62	601,28	196,55
85	2411,16	874,65	1924,75	691,27	1543,27	548,25	1236,15	432,75	983,63	337,78	772,42	258,35
90	4117,66	1508,85	3019,76	1097,51	2274,39	818,24	1735,49	616,33	1327,91	463,62	1009,00	344,13
95	9739,04	3601,74	5643,52	2071,68	3716,72	1352,19	2597,54	934,27	1866,44	661,27	1351,86	469,12
99,4	—	—	15580,51	5761,26	6967,84	2555,95	4160,22	1488,73	2667,70	955,60	1809,12	636,07

Продолжение

Температура, t	Относительная влажность φ, %											
	40		30		20		10		5		0	
	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d	i	d
45	109,86	25,03	93,19	18,58	76,89	12,27	60,86	6,07	52,98	3,02	45,18	0
50	134,70	32,60	112,73	24,13	91,35	15,88	70,50	7,84	60,28	3,90	50,17	0
55	165,15	42,24	136,29	31,15	108,40	20,43	81,39	10,05	68,20	4,98	55,24	0
60	202,57	54,48	164,70	39,98	128,44	26,10	93,65	12,78	76,80	6,33	60,27	0
65	248,83	70,02	199,19	51,08	152,20	33,15	107,61	16,14	86,20	7,97	65,31	0
70	306,68	89,83	241,43	65,03	180,58	41,90	123,67	25,27	96,57	9,97	70,34	0
75	379,53	115,21	293,44	82,60	214,61	52,74	142,17	25,30	108,12	12,40	75,38	0
80	472,51	147,96	358,06	104,77	255,72	66,15	163,66	31,41	121,02	15,32	80,42	0
85	593,21	190,95	439,30	133,07	305,71	82,83	188,75	38,84	135,54	18,83	85,47	0
90	752,74	248,12	542,48	169,34	366,86	103,54	218,11	47,81	151,95	23,02	90,51	0
95	970,19	326,60	676,02	216,75	442,50	129,55	252,71	58,68	170,60	28,02	95,56	0
99,4	1237,65	423,39	830,19	271,75	524,76	158,08	288,71	70,23	189,32	33,24	100,00	0

УКАЗАТЕЛЬ ЛИТЕРАТУРЫ

Бутковский В. А., Гафнер Л. А., Кулак В. Г. Эксплуатация оборудования мельниц и крупозаводов.—М.: Колос, 1974.

Вайсман М. Р., Грубиян И. Я. Вентиляционные и пневмотранспортные установки.—М.: Колос, 1977.

Володин Н. Воздух рабочей зоны.—Мукомольно-элеваторная и комбикормовая промышленность, 1977, № 7.

Веселов С. А. Практикум по вентиляционным установкам.— М.: Колос, 1967.

Веселов С. А. Проектирование вентиляционных установок предприятий по хранению и переработке зерна.— М.: Колос, 1974.

Демский А. Б., Борискин М. А. Справочник по оборудованию зерноперерабатывающих предприятий.— М.: Колос, 1980.

Дмитрук Е. А., Володин Н. П. Аспирация комбикормовых заводов.— М.: Колос, 1976.

Дорошевский В. В. Лабораторный практикум по курсу «Вентиляционные установки», ч. II ОТИИП им. М. В. Ломоносова, Одесса, 1976.

Кошарский Б. Д. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы (3-е изд.). Л., Машиностроение, 1976.

Кривошеин А. И. Наладка пневматических устройств на зерноперерабатывающих предприятиях.— М.: Колос, 1972.

Панченко А. В., Дзядзио А. М. Вентиляционные установки зерноперерабатывающих предприятий (3-е издание).— М.: Колос, 1974.

Святков С. Н. Строенный дифференциальный микроманометр ЛТА-4. Инструкция по эксплуатации и уходу.— Л., 1969.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. **Оборудование лабораторий вентиляционных установок** 3
§ 1. Общие требования, предъявляемые к оборудованию лабораторий 3
§ 2. Устройство лабораторий вентиляционных установок 4
§ 3. Правила по технике безопасности при работе на вентиляционных установках и стендах . . . 12
Глава II. **Общие методические положения** 14
§ 1. Система единиц измерения и основные параметры воздуха 14
§ 2. График распределения давлений в вентиляционных воздухопроводах и его применение . . . 17
§ 3. Порядок проведения лабораторных занятий . 21
§ 4. Математическая обработка результатов измерений 23
§ 5. Методические указания к выполнению лабораторных работ 24
Глава III. **Контрольно-измерительные приборы вентиляционных установок** 25
§ 1. Приборы для измерения давлений 25
§ 2. Способы и приборы для измерения скоростей воздуха 49
§ 3. Способы и приборы для измерения запыленности воздуха 60
§ 4. Вспомогательные приборы 72
Глава IV. **Лабораторные работы по вентиляционным установкам** 78
§ 1. Оформление лабораторных работ 78
§ 2. Лабораторная работа № 1. Измерение давлений в воздухопроводах 78
§ 3. Лабораторная работа № 2. Измерение скоростей и расходов воздуха в воздухопроводах . . . 83
§ 4. Лабораторная работа № 3. Измерение потерь давления в воздухопроводах 90
§ 5. Лабораторная работа № 4. Испытание пылеотделителя (всасывающего фильтра или циклона), определение сопротивления пылеотделителя и подсосов воздуха в нем 94
§ 6. Лабораторная работа № 5. Испытание вентилятора. Определение зависимости расхода воздуха, давления и потребной мощности вентилятора от частоты его вращения 101

§ 7. Лабораторная работа № 6. Измерение потерь давления в аспирируемом оборудовании . . . 110
§ 8. Лабораторная работа № 7. Определение запыленности воздуха в помещении 113
§ 9. Лабораторная работа № 8. Определение запыленности воздуха в воздухопроводах и коэффициента очистки пылеотделителя (фильтра или циклона) 115
§ 10. Лабораторная работа № 9. Обнаружение и устранение дефектов при эксплуатации вентиляционных установок 119
Глава V. **Методика проектирования вентиляционных установок при выполнении курсовых и дипломных проектов** 129
§ 1. Содержание и объем проекта 129
§ 2. Основные требования, предъявляемые к проектируемым вентиляционным установкам . . . 132
§ 3. Выявление аспирируемого оборудования, расчет воздухообмена и обоснование типов проектируемых сетей 138
§ 4. Компоновка вентиляционных сетей 141
§ 5. Расчет и подбор пылеотделителей, определение их сопротивления и места установки . . . 145
§ 6. Предварительный подбор вентилятора к сети и место его установки 166
§ 7. Проектирование трассы воздухопроводов . . 171
§ 8. Расчет вентиляционной сети 182
§ 9. Оформление чертежей, пояснительной записки и спецификации 206
§ 10. Аспирация оборудования 210
§ 11. Определение расходов воздуха на аспирацию оборудования 212
Приложения 218
Указатель литературы 253

Сергей Александрович Веселов

ПРАКТИКУМ ПО ВЕНТИЛЯЦИОННЫМ УСТАНОВКАМ

Зав. редакцией *Л. М. Клейман*
Редактор *Г. Б. Чепорова*
Художественный редактор *Н. М. Коровина*
Технические редакторы *В. А. Боброва*,
Н. В. Новикова
Корректор *С. В. Вишнякова*

ИБ № 2388

Сдано в набор 28.07.81. Подписано к печати 12.03.82. Т-02961. Формат 84×108$^{1}/_{32}$. Бумага газетная. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 13,44. Усл. кр.-отт. 13,65. Уч.-изд. л. 14,29. Изд. № 189. Тираж 5000 экз. Заказ № 3958. Цена 60 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Колос», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Типография им. Смирнова Смоленского облуправления издательств, полиграфии и книжной торговли, г. Смоленск, пр. им. Ю. Гагарина, 2.