

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Научно-исследовательский центр
«Экологическая безопасность и энергосбережение на транспорте»
Кафедра «Охрана труда»

В. М. ОВЧИННИКОВ, Н. П. ЗЯБКИН, С. Н. ШАТИЛО

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ

Часть I
СУХАЯ МЕХАНИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГАЗА

Учебно-методическое пособие для студентов транспортных и строительных специальностей и слушателей Института повышения квалификации

*Одобрено методической комиссией факультета УПП
и учебно-методическим советом ИПК*

Гомель 2009

УДК 502.3(075.8)
ББК 20.1
О-35

Рецензент – заведующий кафедрой «Промышленная теплоэнергетика и экология» ГГТУ им. П.О. Сухого канд. техн. наук, доцент А. В. Овсянник.

Овчинников, В. М.

О-35 Экологическая безопасность предприятия : учеб.-метод. пособие : в 5 ч. Ч. I : Сухая механическая очистка газа / В. М. Овчинников, Н. П. Зябкин, С. Н. Шатило ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 70 с.
ISBN 978-985-468-543-4 (ч. I)

Приведены основные сведения об аэрозолях, классификация пылеуловителей, принципы действия пылесадительных камер, циклонов, фильтрующих пылеуловителей и др.

Большое внимание уделено проведению контроля работы пылеулавливающих устройств при их эксплуатации, а также ведению документации в соответствии с требованиями Минприроды Республики Беларусь.

Предназначено для студентов транспортных и строительных специальностей и слушателей Института повышения квалификации.

УДК 502.3(075.8)
ББК 20.1

ISBN 978-985-468-543-4 (ч. I) © Овчинников В. М., Зябкин Н.П., Шатило С.Н., 2009
ISBN 978-985-468-542-7 © Оформление. УО «БелГУТ», 2009

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
Основные сведения об аэрозолях.....	5
Основные свойства взвешенных частиц	6
Классификация пылеуловителей.....	9
Сухие механические пылеуловители.....	12
Инерционные пылеуловители.....	14
Циклоны.....	15
Циклоны конструкции НИИОГаза.....	15
Циклоны конструкции Гипродревпрома типа Ц.....	18
Циклоны конструкции СИОТа.....	20
Циклоны конструкции ВЦНИИОТа.....	21
Групповые циклоны.....	21
Батарейные циклоны.....	24
Фильтрующие пылеуловители.....	27
Рукавные фильтры.....	27
Фильтры рукавные типа ФРИП.....	38
Новые пылеочистные устройства.....	42
Комбинированный конический циклон.....	42
Двухступенчатая система пылеулавливания.....	43
Циклон-фильтр.....	44
Пылеулавливающие установки для деревообработки.....	45
Пылеулавливающие установки для заточно-шлифовальных станков.....	48
Воздушные фильтры фирмы «PlumoVent».....	50
Контроль эффективности работы пылегазоулавливающих устройств.....	53
Определение скорости и расхода газа.....	54
Приемники давления и регистрирующие приборы.....	54
Пневмометрическая трубка конструкции МИОТа.....	54
Пневмометрическая трубка конструкции Пито-Прандтля.....	55
Пневмометрическая трубка конструкции НИИОГаза.....	56
Пневмометрическая трубка конструкции ГИНЦВЕТМЕТа.....	57
Микроманометр типа ММН.....	58
Дифференциальный манометр типа ДМЦ.....	60
Многофункциональные приборы фирмы Testo.....	62
Документы и маркировка газоочистных установок, находящихся в эксплуатации на предприятии.....	63
Приложение А Показатели работы ГОУ.....	68
Приложение Б Образец схемы.....	69
Приложение В Образец маркировки ГОУ.....	70

ВВЕДЕНИЕ

Состояние природной среды является одним из важнейших факторов, определяющих жизнедеятельность человеческого общества.

Защита воздушного бассейна от загрязнений промышленными выбросами является одной из важнейших проблем, затрагивающих все страны мира. В настоящее время объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу чрезвычайно велик: ежегодно только в Республике Беларусь выбрасывается в атмосферу более 700 тыс. тонн оксидов углерода, около 135 тыс. тонн оксидов азота, 250 тыс. тонн углеводородов, более 72 тыс. тонн твердых веществ. Преобладающая часть из них производится передвижными источниками (более 70 %). Большая часть выброшенных в атмосферу оксидов азота и углерода, а также углеводородов обусловлена работой транспорта, в том числе и железнодорожного. Причем, вклад стационарных источников в выбросы диоксида серы и твердых веществ значительно выше, чем у передвижных. На железнодорожном транспорте Республики Беларусь основными источниками выделения вредных веществ являются магистральные тепловозы (67 %), стационарные источники предприятий транспорта (15 %), маневровые тепловозы (12 %). Распределение выбросов по территории Беларуси неравномерно. Наибольшее количество загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками выбрасывается на территории Минской области (более 30 %), наименьшее – в Могилевской и Гродненской областях (около 11 % в каждой).

Поэтому вопросы охраны окружающей среды рассматриваются в числе приоритетных направлений государственной политики Республики Беларусь.

Государственным органом в области экологии и природопользования является Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, на которое возложены задачи по реализации государственной экологической политики.

В последние годы в области государственного управления охраной окружающей среды Республики Беларусь произошли изменения, направленные на совершенствование природоохранного законодательства, нормативной базы, системы экологического контроля, расширение прав и

обязанностей природоохранных органов, внедряются более эффективные экономические методы управления и контроля за природопользованием. Постоянно совершенствуется система финансирования природоохранных мероприятий, реализуются программы подготовки и повышения квалификации кадров, занимающихся вопросами экологии, все большее внимание уделяется повышению экологической культуры населения республики. Над проблемами экологии в республике работает целый ряд научных учреждений, различных ведомств, организаций и предприятий.

Белорусская железная дорога в промышленно-транспортной структуре Республики Беларусь занимает далеко не последнее место. Железнодорожный транспорт представляет собой технико-экономическую структуру, включающую в себя:

- эксплуатацию и ремонт подвижного состава;
- строительство, ремонт и эксплуатацию железнодорожных путей, мостов, строительство зданий и сооружений;
- предприятия электроснабжения, сигнализации и связи;
- предприятия погрузо-разгрузочных работ, автопредприятия, предприятия водоснабжения и водоотведения.

Все процессы изготовления, ремонта и эксплуатации подвижного состава, дорожных машин и механизмов и др. связаны с выделением в окружающую среду пыли, сажи, газов и других вредных веществ. Поэтому перед железнодорожным транспортом в области экологии стоят такие же задачи, как и перед другими предприятиями промышленности.

В настоящее время в области охраны природы наметились два основных направления:

- борьба с загрязнением воздуха, воды, почвы путем улавливания и обезвреживания пылегазовыделений и сточных вод;
- совершенствование существующих технологий производства, создание новых технологий, позволяющих существенно уменьшить или полностью исключить вредное влияние отходов на окружающую среду.

Целью данной работы является ознакомление с некоторыми элементами теории и практики газоочистки, являющейся неотъемлемой частью экологической безопасности.

ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ АЭРОЗОЛЯХ

Промышленные газы и воздух, содержащие взвешенные твердые или жидкие частицы, представляют собой двухфазные системы, состоящие из непрерывной (сплошной) среды и дисперсной фазы. Сплошной фазой в данном случае являются газы, дисперсной – твердые частицы или капельки жидкости. Подобные двухфазные системы получили название

аэродисперсных систем или аэрозолей. Аэрозоли принято разделять на три класса – пыли, дымы и туманы.

Пыли состоят из твердых частиц, диспергированных в газообразной среде в результате механического измельчения твердых тел в порошки. К этому классу аэрозолей относится, например, аспирационный воздух, отсасываемый от дробильных, размольных и бурильных агрегатов, транспортных устройств, пескоструйных аппаратов, станков для механической обработки изделий, отделений упаковки порошкообразных материалов. Пыли –полидисперсные малоустойчивые системы с размером частиц от 5 до 50 мкм и более.

Дымы представляют собой аэродисперсные системы, состоящие из частиц с малым давлением пара и малой скоростью седиментации. К дымам относятся аэрозоли, образующиеся при возгонке и конденсации паров, а также в результате химических и фотохимических реакций; размер частиц в дымах – от 5 до 0,1 мкм и менее.

Туманы состоят из капелек жидкости, диспергированных в газообразной среде, в которых могут содержаться растворенные вещества или суспендированные твердые частицы. Туманы обычно образуются в результате конденсации паров или при распылении жидкости в газовой среде.

Для того чтобы показать характерные особенности аэродисперсной системы, рассмотрим основные свойства сплошной и дисперсной фаз многофазных систем в отдельности.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ

Плотность частиц. Различают истинную, насыпную и кажущуюся плотности. Насыпная плотность (в отличие от истинной) учитывает воздушную прослойку между частицами пыли. При слеживании насыпная плотность возрастает в 1,2–1,5 раза. Кажущаяся плотность представляет собой отношение массы частицы к занимаемому ею объему, включая поры, пустоты и неровности. Гладкие монолитные, как и первичные, частицы имеют кажущуюся плотность, практически совпадающую с истинной.

Дисперсность частиц. Размер частиц является основным ее параметром, так как выбор пылеуловителя того или иного типа определяется, главным образом, дисперсным составом улавливаемой пыли. В процессе коагуляции первичные частицы объединяются в агломераты, т.е. укрупняются. Поэтому в технике газоочистки большое значение имеет так называемый стоксовский размер, представляющий собой диаметр сферической частицы, имеющей такую же скорость осаждения (седиментации), как и данная несферическая частица или агрегат.

Дисперсный состав пыли можно представить в виде содержания по числу или массе частиц различных фракций. Фракцией называют относительную долю частиц, размеры которых находятся в определенном интервале значений, принятых в качестве нижнего и верхнего пределов.

Иногда размер частиц характеризуют скоростью витания, которая представляет собой скорость свободного падения частиц в неподвижном воздухе.

На рисунке 1 представлена классификационная номограмма пылей, построенная в вероятностно-логарифмической системе координат.

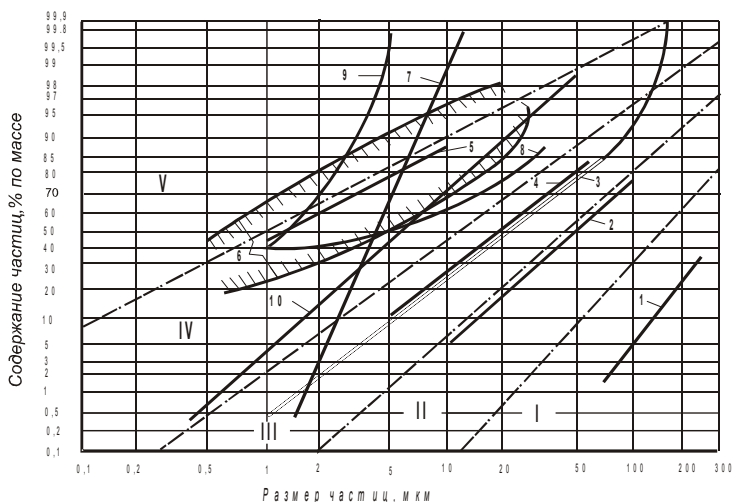


Рисунок 1 – Классификационная номограмма пылей:

I–V – зоны классификационных групп пылей по их дисперсности; 1 – уголь, измельченный в шаровой мельнице; 2 – мелкий кварцевый песок; 3 – пылевидный кварц КП-3, применявшийся в качестве тестовой пыли при испытании пылеуловителей лабораторией очистки воздуха ЦНИИПромзданий; 4 – цемент; 5 – дым маргеновских печей; 6 – область дисперсности атмосферной пыли (по Уитби, Ландгрёну и др.); 7 – тестовая кварцевая аэрозоль, применявшаяся лабораторией очистки воздуха ЦНИИПромзданий при испытаниях воздушных фильтров;

8 – порошок АШРАЕ, применявшийся в США при испытаниях воздушных фильтров; 9 – тестовый порошок, применявшийся Боннским пылетехническим институтом при испытаниях воздушных фильтров; 10 – тестовый порошок, применявшийся ВНИИКондиционирования при испытаниях воздушных фильтров.

Штрихпунктирными линиями показаны границы зон пяти классификационных групп пылей:

I – очень крупнодисперсная пыль;

II – крупнодисперсная пыль (мелкий песок для строительных работ по ГОСТ 8736 и др.)

III – среднедисперсная пыль (цемент, ...);

IV – мелкодисперсная пыль (взвешенная атмосферная пыль, ...);

V – очень мелкодисперсная пыль.

Адгезионные свойства частиц. Адгезионные свойства частиц определяют их склонность к слипаемости. Повышенная слипаемость частиц может привести к частичному или полному забиванию пылеулавливающих аппаратов. Поэтому для многих пылеулавливающих аппаратов установлены границы применимости в зависимости от слипаемости улавливаемой пыли. Пыли, у которых 60–70 % частиц имеют диаметр меньше 10 мкм, ведут себя как слипающиеся, хотя те же пыли с размером частиц более 10 мкм обладают хорошей сыпучестью. В таблице 1 приведено ориентировочное разделение пылей по степени слипаемости.

Таблица 1 – Разделение пыли по степени слипаемости

Характеристика пыли	Наименование
Неслипающиеся	Сухая шлаковая пыль; кварцевая пыль (сухой песок); сухая глина
Слабослипающиеся	Летучая зола, содержащая много несгоревших продуктов; коксовая пыль; магнезитовая сухая пыль; сланцевая зола; апатитовая сухая пыль; доменная пыль; колошниковая пыль
Среднеслипающиеся	Летучая зола без недожога; торфяная зола; торфяная пыль; влажная магнезитовая пыль; металлическая пыль; колчеданы, оксиды свинца, цинка и олова; сухой цемент; сажа; сухое молоко; мучная пыль; опилки
Сильнослипающиеся	Цементная пыль, выделенная из влажного воздуха; гипсовая и алебастровая пыль; нитрофоска; двойной суперфосфат; клинкерная пыль, содержащая соли натрия; волокнистые пыли (асбест, хлопок, шерсть); все пыли с размерами частиц менее 10 мкм

Абразивность частиц. Абразивность пыли характеризует интенсивность износа металла при одинаковых скоростях и концентрациях пыли. Она зависит от твердости, формы и размера частиц. Абразивность пыли учитывается при выборе скорости запыленных газов и толщины стенок пылеулавливающих аппаратов и газоходов.

Способность частиц пыли к самовозгоранию и образованию взрывоопасных смесей с воздухом. Горючая пыль вследствие развитой

поверхности контакта частиц с кислородом воздуха (порядка $1 \text{ м}^2/\text{г}$) способна к самовозгоранию и образованию взрывчатых смесей с воздухом.

Минимальные взрывоопасные концентрации взвешенной в воздухе пыли – примерно $20\text{--}500 \text{ г}/\text{м}^3$ воздуха, максимальные – около $700\text{--}800 \text{ г}/\text{м}^3$. Способностью к воспламенению обладают некоторые пыли органических веществ, красителей, пластмасс, волокон, а также пыли некоторых металлов (Mg, Al, Zn и др.). Все это необходимо учитывать при расчете вентиляционных систем и выборе пылеуловителей.

Кроме вышеназванных свойств частиц при выборе и расчете пылеуловителей в некоторых случаях учитываются такие свойства, как смачиваемость, гигроскопичность и растворимость, электрическое сопротивление пыли, электрическая заряженность частиц и др.

КЛАССИФИКАЦИЯ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

В технике пылеулавливания применяется большое количество аппаратов, отличающихся друг от друга как по конструкции, так и по принципу осаждения частиц.

По способу улавливания пыли их обычно подразделяют на аппараты *сухой очистки, мокрой и электрической.*

В основе работы сухих пылеуловителей лежат гравитационные, инерционные и центробежные механизмы очистки.

К этой группе относятся:

а) пылеуловительные камеры, в которых для осаждения частиц используют силу тяжести частиц;

б) аспирационно-коагуляционные шахты, в которых кроме сил тяжести действует эффект коагуляции частиц;

в) жалюзийные и другие инерционные аппараты, в которых частицы осаждаются при вращении или повороте газового потока под действием сил инерции, во много раз превышающих силу тяжести, при этом осаждаются, основном, и частицы размером свыше $5\text{--}10 \text{ мкм}$;

г) циклоны, в которых используется центробежный эффект.

Самостоятельную группу аппаратов сухой очистки представляют пылеуловители фильтрационного действия. К этой группе следует отнести фильтры тканевые, волокнистые и зернистые, в которых газ обеспыливается, проходя через слой ткани, войлока, песка или гравия, при этом кроме фильтрации используются инерционные, гравитационные, электрические и другие силы.

На рисунке 2 приведена примерная классификация пылеуловителей.

В основе работы мокрых пылеуловителей лежит контакт запыленных газов с промывной жидкостью, при этом осаждение частиц происходит на капли, на поверхность газовых пузырей или пленку жидкости. К ним

относятся мокрые скрубберы, ротоклоны, пенные и турбулентные аппараты.

Особую группу пылеочистных аппаратов составляют электрофильтры. Принцип работы электрофильтров основан на различии диэлектрических постоянных частиц пыли и газа, что позволяет придать частицам заряд определенной величины, при которой они под действием электрического поля удаляются из увлекающего их газа на осадительный электрод, а оттуда стряхиваются в бункер.

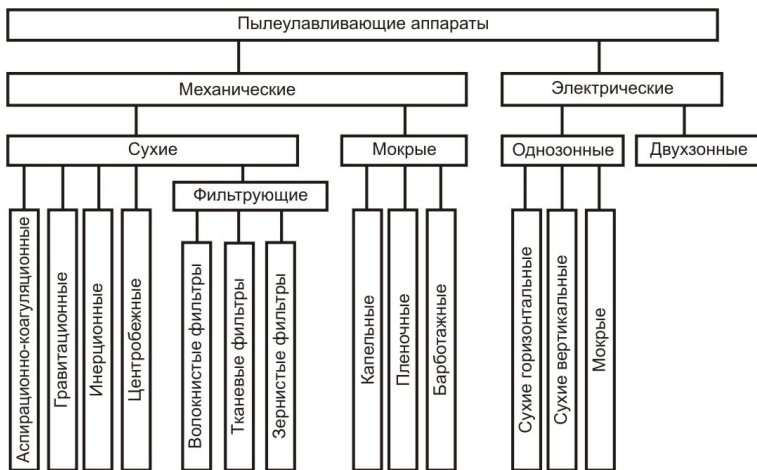


Рисунок 2 – Классификация пылеуловителей

Область применения тех или иных пылеуловителей в зависимости от размеров улавливаемых частиц приведена на рисунке 3.

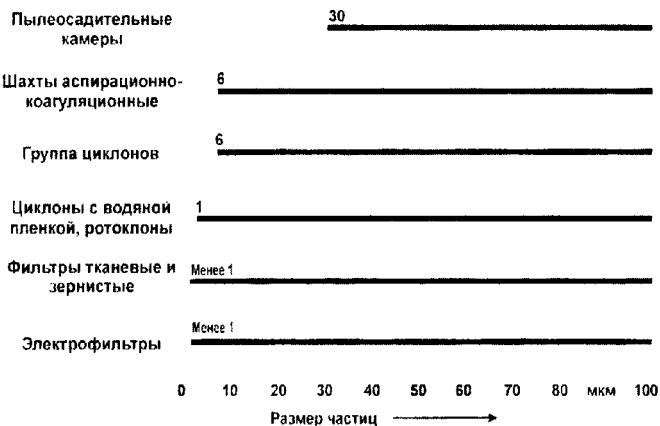


Рисунок 3 – Области применения пылеуловителей
в зависимости от размеров частиц

Пылеосадительные камеры, шахты, циклоны и скрубберы представляют собой аппараты грубой очистки, и их, как правило, используют для предварительного обеспыливания воздуха. Для достижения более высокой степени очистки воздуха устанавливают несколько ступеней пылеулавливания (например, циклон – рукавный фильтр и т.п.).

Основной величиной, характеризующей работу пылеулавливающих аппаратов, является коэффициент обеспыливания газов (степень очистки, коэффициент полезного действия).

Эффективность очистки η может быть определена по содержанию пыли в газах до поступления в газоочистной аппарат и содержанию ее на выходе из него:

$$\eta = \frac{C_{\text{ВХ}} - C_{\text{ВЫХ}}}{C_{\text{ВХ}}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{ВХ}}, C_{\text{ВЫХ}}$ – массовая концентрация пыли на входе в газоочистной аппарат и выходе из него, г/м³.

В связи с тем, что количество газа, входящее в газоочистной аппарат и выходящее из него за счет утечек и подсосов, как правило, отличаются друг от друга, эффективность аппарата следует определять по формуле

$$\eta = \frac{V_{\text{а}}^{\text{ао}} C_{\text{ао}} - V_{\text{а}}^{\text{ауо}} C_{\text{ауо}}}{V_{\text{а}}^{\text{ао}} C_{\text{ао}}} = 1 - \frac{V_{\text{а}}^{\text{ауо}} C_{\text{ауо}}}{V_{\text{а}}^{\text{ао}} C_{\text{ао}}}, \quad (2)$$

где $V_{\text{Г}}^{\text{ВХ}}, V_{\text{Г}}^{\text{ВЫХ}}$ – количество газа, поступающее в газоочистной аппарат и выходящее из него, м³/ч.

Часто фракционный состав пыли не однороден, т.е. присутствуют более крупные и более мелкие фракции, которые пылеочистные устройства улавливают по-разному, в этом случае коэффициент очистки определяют по фракционной эффективности – степени очистки газа от частиц определенного размера. Фракционная эффективность очистки

$$\eta_{\text{ф}} = \frac{\Phi' - \Phi''(1 - \eta)}{\Phi'}, \quad (3)$$

где Φ', Φ'' – содержание данной фракции в газах, соответственно начальное (на входе в устройство) и конечное (на выходе из устройства), %.

Зная фракционную степень очистки газов, можно определить общую степень очистки по формуле

$$\eta = \frac{\eta_{\phi 1} \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\phi 2} \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\phi n} \Phi_n}{100}, \quad (4)$$

где $\eta_{\phi 1}, \dots, \eta_{\phi n}$ – степень очистки устройства для каждой фракции;

Φ_1, \dots, Φ_n – содержание данной фракции в пыли, %.

Для расчета по этой формуле могут быть использованы кривые фракционных эффективностей (степеней очистки), полученных экспериментальным путем для некоторых пылеуловителей.

Эффективность пылеулавливания может быть выражена в виде коэффициента проскока частиц (степени неполноты улавливания), который представляет собой отношение концентраций частиц за пылеуловителем к их концентрации перед ним.

Коэффициент проскока χ рассчитывается по формуле

$$\chi = 1 - \eta. \quad (5)$$

Суммарную степень очистки газов, достигнутую в нескольких последовательно установленных (соединенных) аппаратах, рассчитывают по формуле

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (6)$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ – степени очистки газов в первом, втором и n -м пылеуловителях.

Работу пылеулавливающих аппаратов, кроме того, характеризует их гидравлическое сопротивление, измеряемое разностью полных давлений газа на входе в аппарат и на выходе из него. Гидравлическое сопротивление ΔP , Па, характеризует расход энергии, затрачиваемой при проходе газа через аппарат, и определяется по формуле

$$\Delta P = \xi \frac{\rho v^2}{2}, \quad (7)$$

где ξ – коэффициент гидравлического сопротивления аппарата, определяемый для каждого аппарата экспериментально;

ρ – плотность газа, кг/м³;

v – скорость газа в характерном сечении, м/с.

СУХИЕ МЕХАНИЧЕСКИЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Пылеосадительные камеры. Пылеосадительные камеры (рисунки 4,5) работают на принципе осаждения пыли за счет сил тяжести при медленном движении потока через камеру. Для обеспечения равномерного распределения потока по всей камере иногда на входе устройства устанавливают газораспределительные решетки или другие устройства, стабилизирующие поток.

Основными размерами камеры, определяющими ее эффективность, являются высота H и длина L . Эти размеры определяют время пребывания запыленного потока в камере.

Степень очистки воздуха в пылеосадительных камерах составляет 50–60 %. Скорость движения воздуха в камере выбирается из условий обеспечения ламинарного режима движения и составляет 0,2–0,8 м/с. Камеры обладают невысоким сопротивлением, просты в устройстве и эксплуатации.

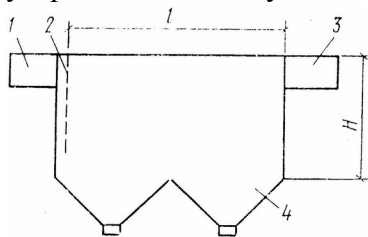


Рисунок 4 – Схема пылеосадительной камеры:
1 – входной газоход; 2 – газораспределительная решетка; 3 – выходной газоход; 4 – бункер

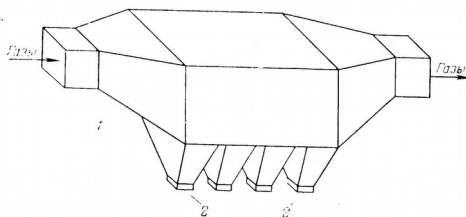


Рисунок 5 – Пылеосадительная камера:
1 – корпус; 2 – пылеотводящий бункер

Размеры пылеосадительной камеры, прежде всего, зависят от размеров улавливаемых частиц пыли и их плотности, эти параметры определяют их скорость витания. Скорость витания частиц, м/с, определяют по номограммам или по формуле

$$v_v = d^2 \rho_p / 18\mu, \quad (8)$$

где d – размер улавливаемых частиц, мкм;

ρ_p – плотность материала пылевых частиц, кг/м³;

μ – динамическая вязкость среды; Па·с.

Зная объем очищаемых газов, можно определить требуемую площадь осаждения

$$S = LB = V_r / 3600 v_v, \quad (9)$$

где V_r – объем газа, проходящего через камеру, м³/ч;

L, B – длина и ширина камеры, м.

Задаваясь шириной камеры, можно найти ее длину, м,

$$L = S / B. \quad (10)$$

Принимая скорость движения газа в камере v_r , м/с, определяют высоту камеры, м,

$$H = V_r / 3600B v_r. \quad (11)$$

В большинстве случаев пылеосадительные камеры применяются для улавливания частиц крупнее 40 мкм. При улавливании очень крупных частиц (350–1500 мкм), имеющих высокую плотность (6000–3000 кг/м³), максимальная скорость газа в камере может приниматься в интервале скоростей 2–5 м/с.

Кроме горизонтальных пылеосадительных камер, для улавливания крупных частиц со скоростью оседания выше скорости пылегазового потока могут применяться вертикальные пылеосадительные камеры. На рисунке 6 приведены схемы таких камер.

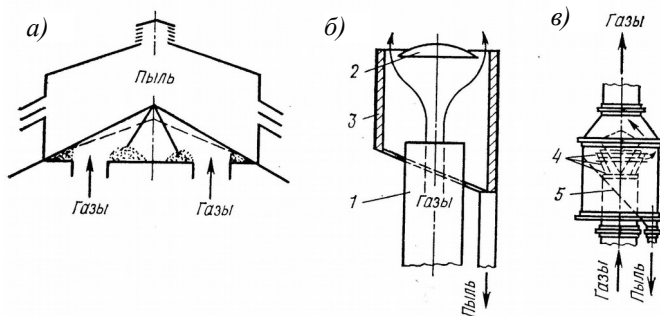


Рисунок 6 – Вертикальные пылеосадительные камеры:

а – без отвода пыли; *б* и *в* – с отводом пыли; 1 – газоход; 2 – отражательный диск; 3 – огнеупорное покрытие; 4 – отражательные конусы; 5 – наклонная плита

При очевидной простоте различных конструкций камер (односекционные, многосекционные, вертикальные) они весьма материалоемки и громоздки. В настоящее время пылеосадительные камеры применяются в качестве аппаратов предварительной очистки при очень высокой концентрации пыли.

Инерционные пылеуловители

При резком изменении направления движения газового потока частицы пыли под действием инерционной силы продолжают двигаться в прежнем направлении и могут быть выделены из основного потока. На этом принципе работает целый ряд пылеуловителей, наиболее распространенные схемы их приведены на рисунке 7.

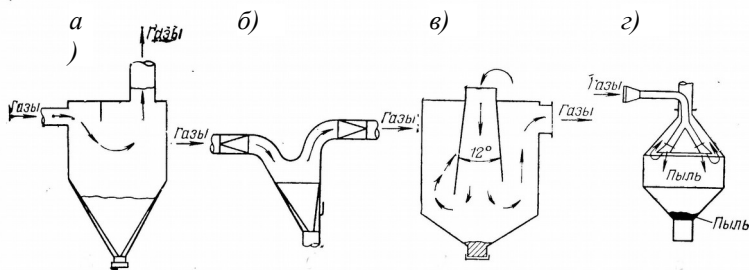


Рисунок 7 – Инерционные пылеуловители:

a – камера с перегородкой; *б* – камера с плавным поворотом газового потока; *в* – камера с расширяющимся конусом; *г* – камера с заглубленным бункером

Циклоны

Циклоны относятся к аппаратам, в которых основным механизмом осаждения пылевых частиц является центробежный механизм, а центробежная сила возникает за счет вращательного движения газового потока.

На рисунке 8 представлена упрощенная схема работы циклона. Газы, направляющиеся в аппарат, поступают в цилиндрическую часть циклона и совершают вращательное движение по спирали с возрастающей скоростью от периферии к центру, спускаются по наружной спирали, а затем поднимаются по внутренней спирали и выходят через выхлопную трубу.

Центробежное ускорение в циклонах в несколько сот раз больше ускорения силы тяжести, поэтому даже весьма маленькие частицы пыли не в состоянии следовать за потоком газов и под действием центробежной силы выносятся из кривой движения газов по направлению к стенке. Вследствие интенсивного вращения газа в корпусе циклона статическое давление в нем понижается от периферии к центру. То же наблюдается и в бункере. Отсюда следует, что герметичность бункера должна быть обеспечена при установке циклона на линии как нагнетания, так и всасывания. Несоблюдение этого условия приводит к снижению эффективности аппарата. При подсосе воздуха через нижнюю часть циклона 10–15 % эффективность аппарата становится близкой к нулю.

В отечественной практике пылеулавливания применяется более 20 типов циклонов. Наиболее распространенными из них являются циклоны, разработанные НИИОГаз-ом, Гипродревпромом, Гипродревом, ВЦНИИОТом, СИОТом.

Циклоны конструкции НИИОГаза

Эти циклоны подразделяются на цилиндрические (ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У и ЦН-24) и конические (СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М, СК-ЦН-22).

Характерной особенностью цилиндрических циклонов этой группы являются: наличие удлиненной цилиндрической части. Угол наклона крышки и входного патрубка – соответственно 11,15 и 24 градуса и одинаковое соотношение диаметра выхлопной трубы к диаметру циклона, равное 0,59. Циклон ЦН-15У имеет меньшую высоту.

Конические циклоны характеризуются длинной конической частью, спиральным входным патрубком и малым отношением диаметров выхлопной трубы и корпуса циклона (соответственно 0,33, 0,34 и 0,22).

На рисунках 9 и 10 приведены схемы циклонов НИИОГаза, а в таблицах 2 и 3 – соотношения их размеров.

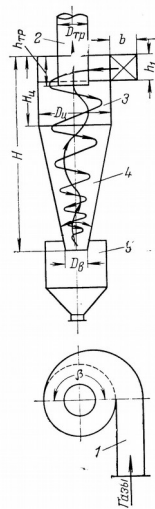


Рисунок 8 – Схема работы циклона:
1 – входной патрубок; 2 – выхлопная труба;
3 – цилиндрическая камера; 4 – коническая камера; 5 – бункер

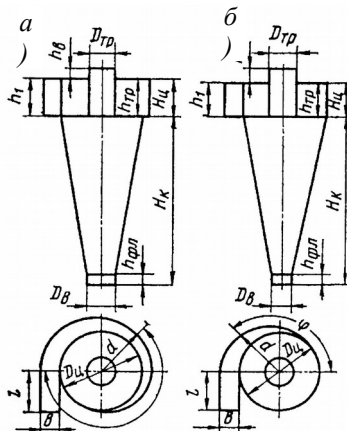
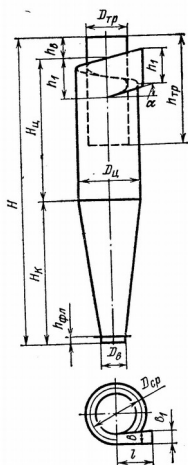


Рисунок 9 – Цилиндрический циклон конструкции НИИОГаза

Рисунок 10 – Конические циклоны конструкции НИИОГаза:
a – СДК-ЦН-33; *б* – СДК-ЦН-34

Цилиндрические циклоны ЦН-15 отличаются более устойчивой работой на пылях, склонных к налипанию, поэтому их эксплуатация оправдана при очистке воздуха с высокой концентрацией мелкодисперсной пыли или при улавливании средне- и сильнослипающихся пылей.

Бункеры для всех одиночных циклонов НИИОГаза имеют цилиндрическую форму, и для них принимаются следующие соотношения: для цилиндрических циклонов $D_1 = 1,5D$; для конических циклонов $D_1 = 1,1 \dots 1,2D$. Высота цилиндрической части бункера равна $0,8D$. Днище бункера выполняется с углом наклона стенок 60° .

Таблица 2 – Соотношение размеров в долях внутреннего диаметра D для циклонов ЦН-1, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24

Наименование	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Внутренний размер выхлопной трубы d	0,59 для всех типов			
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_1	0,3–0,4 для всех типов ¹⁾			

Окончание таблицы 2

Наименование	Тип циклона			
	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_1	0,3–0,4 для всех типов ¹⁾			
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер) b	0,2 для всех типов			
Ширина входного патрубка на входе (внутренний размер) b_1	0,26 для всех типов			
Длина входного патрубка l	0,6 для всех типов			
Диаметр средней линии циклона D_{cp}	0,8 для всех типов			
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1 для всех типов			
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона α , град	15	15	24	11
Высота входного патрубка a	0,66	0,66	1,11	0,48
Высота выхлопной трубы h_t	1,74	1,5	2,11	1,56
Высота цилиндрической части циклона $H_{ц}$	2,26	1,51	2,11	2,06
Высота конуса циклона H_k	2	1,50	1,75	2,0
Высота внешней части выхлопной трубы, h_b	0,3	0,3	0,4	0,3
Общая высота циклона H	4,56	3,31	4,26	4,38
¹⁾ Большой размер принимается при малых D и большой запыленности.				

Таблица 3 – Соотношение размеров в долях внутреннего диаметра D для циклонов СКД-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М

Наименование	Тип циклона		
	СКД-ЦН-33	СКД-ЦН-33	СКД-ЦН-33
Внутренний диаметр цилиндрической части D	> 3000 мм		> 4000 мм
Высота цилиндрической части $H_{ц}$	0,535	0,515	0,4
Высота конической части H_k	3,0	2,110	2,6
Внутренний диаметр выхлопной трубы d	0,334	0,340	0,22
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия d_1	0,334	0,229	0,18
Ширина входного патрубка b	0,264	0,214	0,18
Высота внешней части выхлопной трубы h_b	0,2–0,3	0,515	0,3
Высота установки фланца $h_{фл}$	0,1	0,1	0,1
Высота входного патрубка a	0,535	0,2–0,3	0,4
Длина входного патрубка l	0,6	0,6	0,6
Высота заглубления выхлопной трубы h_t	0,535	0,515	0,4
Радиус «улитки» r	$D/2 + b\varphi/2\pi$	$D/2 + b\varphi/\pi$	
Примечание – φ – угол разворота спирали.			

На основании приведенных соотношений основных размеров могут быть созданы циклоны любых диаметров. Диаметр циклона определяет его производительность. В таблице 4 приведены некоторые соотношения между диаметром циклона и его производительностью.

Таблица 4 – Соотношения между диаметром циклона и его производительностью

Δp [*] γ_t	Производительность циклонов, м ³ /ч, в зависимости от диаметра циклона, мм														
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800
55	70	200	300	500	800	1100	1450	1850	2250	2700	3250	3800	4400	5100	5800
60	77	212	325	550	850	1150	1510	1940	2360	2825	3390	3950	4600	5300	6050
65	85	225	350	600	900	1200	1575	2030	2470	2950	3530	4125	4800	5525	6300
70	92	238	375	650	950	1255	1640	2110	2580	3075	3670	4300	5000	5750	6550
75	100	350	400	700	1000	1300	1700	2200	2700	3200	3800	4500	5200	6000	6800

^{*} Δp – потеря давления в циклоне, кг/м²; γ_t – объемный вес газа при данной температуре, кг/м³.

В тех случаях, когда необходимо определить диаметр циклона по заданному расходу газа и потери напора (перепад давления), можно пользоваться формулой

$$D = 0,94 \sqrt[4]{\frac{V_a^2 \rho_a \xi_0}{\Delta P}}, \quad (12)$$

где V_a – расход газа, проходящего через аппарат;

ρ_a – плотность газа;

ξ_0 – коэффициент сопротивления аппарата;

ΔP – потеря напора.

Потеря напора может быть рассчитана по формуле

$$\Delta P = \xi_0 \frac{v_0^2 \rho_a}{2} \quad (13)$$

где v_0 – скорость газа во входном патрубке циклона или в плане циклона.

Коэффициенты сопротивления циклонов относительно скорости во входном патрубке для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 соответственно равны 6,1; 7,6; 8,2; 10,9. Степень очистки циклонов ЦН-11 составляет 81–87 %; ЦН-15-80 – 85 %, ЦН-15У – до 84,5 %, ЦН-24 – до 80 %.

Для конических циклонов НИИОГгаза коэффициенты сопротивления относительно скоростей в плане циклона соответственно равны: СКД-ЦН-33 – 520–600, СКД-ЦН-34 – 1050–1150, СКД-ЦН-22 – около 2000. Несмотря на высокие коэффициенты сопротивления, эти циклоны имеют высокую степень очистки – до 90 %.

Циклоны конструкции Гипродревпрома типа Ц

Циклоны этой группы предназначены для улавливания древесной пыли.

На рисунке 11 приведена схема циклонов конструкции Гидродревпрома типа Ц, а в таблице 5 даны их характеристики.

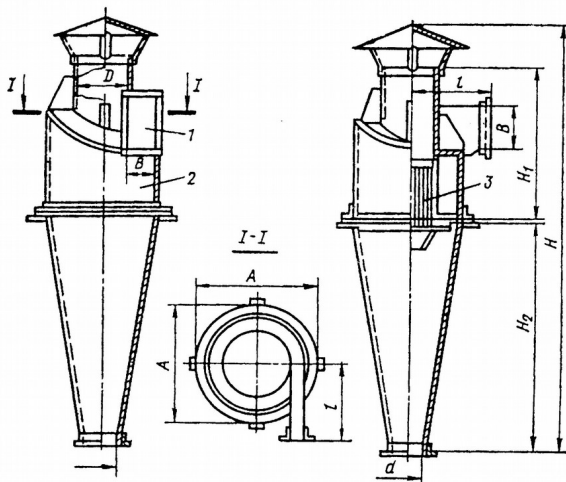


Рисунок 11 – Циклон конструкции Гидродревпрома типа Ц:
1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – сепаратор

Таблица 5 – Характеристики циклонов конструкции Гидродревпрома типа Ц

Марка циклона	Производительность, тыс. м ³ /ч	Площадь сечения входного патрубка, м ²	Размеры, мм								Масса, кг
			D	d	H	H ₁	H ₂	l	A	B	
Ц-250	0,5–0,7	0,00845	150	100	1150	425	600	190	340	130	18,2
Ц-300	0,7–1	0,01235	185	110	1380	525	700	225	390	165	26,3
Ц-375	1–1,5	0,01755	225	135	1720	635	900	300	470	185	36,0
Ц-450	1,5–2,2	0,0259	270	160	2035	765	1050	340	550	225	53,8
Ц-550	2,2–3,2	0,0378	330	200	2505	935	1300	450	650	270	71,0
Ц-600	2,6–3,25	0,045	335	220	2755	1020	1440	450	730	300	80,0
Ц-675	3,2–4,5	0,0553	400	250	3053	1130	1600	550	810	325	103,4
Ц-730	3,85–4,8	0,0668	440	270	3345	1240	1750	570	865	365	106,5
Ц-800	4,5–6,6	0,08	480	300	3650	1360	1800	600	970	400	165,6
Ц-870	5,45–6,85	0,0948	520	320	3980	1480	2080	650	1040	435	184,5
Ц-950	6,6–9,5	0,115	575	350	4335	1625	2250	750	1080	490	207,5
Ц-1050	7,95–9,95	0,138	630	390	4815	1785	2520	790	1283	525	247,0
Ц-1150	9,5–14	0,155	690	420	5255	1950	2750	900	1300	560	322,5
Ц-1235	11–13	0,19	740	460	5635	2100	2960	930	1406	617	333,0
Ц-1320	12,55–13,7	0,218	790	490	6045	2240	3170	990	1508	660	

Ц-1400	14–20	0,249	840	500	6395	2370	3350	1050	1550	700	
Ц-1500	15–23	0,277	900	550	6865	2540	3600	1140	1650	750	516,0
Ц-1600	18,4–23	0,32	960	590	7335	2750	3840	1200	1740	800	573,0

Эти циклоны, как правило, устанавливаются на линии нагнетания. Рекомендуемая скорость пылегазового потока во входном патрубке 16–20 м/с.

Коэффициент местного сопротивления, отнесенный к этой скорости, для данных циклонов принимается равным 5,4, а их эффективность составляет 98–98,5 %.

Циклоны конструкции СИОТа

Циклоны данной конструкции, разработанные Свердловским институтом охраны труда, не имеют цилиндрической части, а входной и выходной патрубки имеют треугольную форму. Циклоны этой конструкции рекомендуется применять для улавливания сухой неволокнистой неслипающейся пыли. Они могут устанавливаться как на линии всасывания, так и на линии нагнетания. Коэффициент их сопротивления, отнесенный к скорости во входном патрубке, равен 6. Рекомендуемая скорость на входе в циклон 15–18 м/с, при этом степень очистки аппарата – до 70 %. На рисунке 12 приведена схема циклона, а в таблице 6 – его характеристики для типоразмерного ряда.

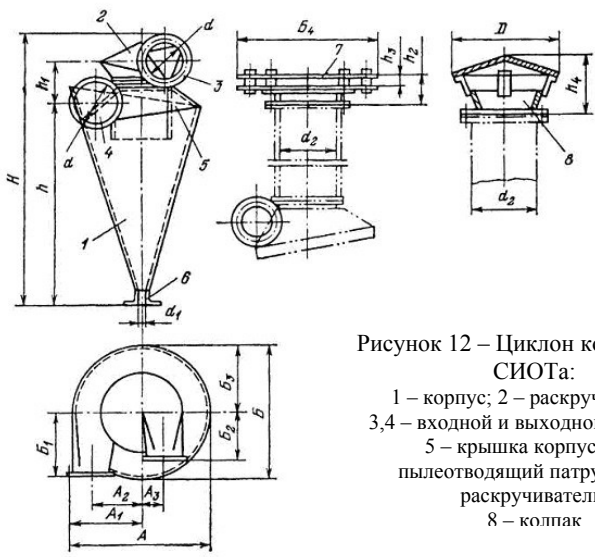


Рисунок 12 – Циклон конструкции СИОТа:
 1 – корпус; 2 – раскручиватель;
 3,4 – входной и выходной патрубки;
 5 – крышка корпуса; 6 – пылеотводящий патрубков;
 7 – раскручиватель;
 8 – колпак

Таблица 6 – Характеристики циклона конструкции СИОТа для типоразмерного ряда

Номер циклона	Производительность, м ³ /ч	Размеры, мм									Масса, кг
		A_1	A_2	A_3	B	H	h	h_1	d	d_1	
1	1,5	703	264	135	675	1720	1360	235	170	68	51
2	3	1045	380	195	970	2455	1960	335	245	98	102
3	4,5	1242	465	240	1184	2995	2400	407	300	120	148
4	6	1428	535	275	1363	3440	2765	460	345	138	195
5	7,5	1593	597	310	1520	3830	3075	525	385	154	244
6	8,5	1698	635	330	1620	4080	3280	555	410	164	275
7	10	1943	690	335	1758	4423	3555	605	445	178	323

Циклоны конструкции ВЦНИИОТа

Циклоны конструкции ВЦНИИОТа (рисунок 13) с расширяющимся (обратным) конусом применяются для улавливания сухой неслипающейся, неволокнистой и абразивной пылей, а также слабослипающихся пылей, таких как сажа, тальк и др.

Пылевой поток в этих циклонах проходит в бункер через кольцевую щель, образованную двумя соосными конусными поверхностями.

Обеспыленный поток возвращается обратно в корпус циклона через центральное отверстие внутреннего конуса.

Такой способ отвода пыли в бункер позволяет применять аппарат для улавливания пылей с повышенной абразивностью.

Эффективность очистки циклонов ВЦНИИОТа не превышает 80 %.

Групповые циклоны

С увеличением диаметра циклона увеличивается его производительность, однако эффективность пылеулавливания снижается. Кроме того, установка одного

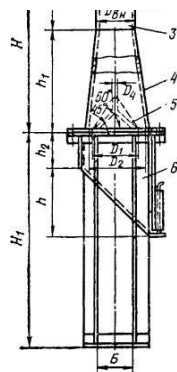


Рисунок 13 – Циклон конструкции ВЦНИИОТа:

- 1 – входной патрубок; 2 – выхлопная труба;
- 3 – корпус; 4 – внутренний конус; 5 – камера пылесборника; 6 – кольцевая щель

высокопроизводительного циклона вызывает затруднения при размещении вследствие его большой высоты. Уменьшение же диаметра увеличивает степень очистки, но уменьшает производительность циклона. Поэтому для очистки больших объемов газа (воздуха) цилиндрические циклоны НИИОГаза могут комплектоваться в группы, объединенные общим входящим коллектором, пылесборником и коллектором очищенного воздуха, т.е. включаются в сеть параллельно.

Групповые циклоны комплектуются по 2, 4, 6, 8, 10, 12 и 14 элементов в один или два ряда или имеют круговую компоновку. На рисунках 14 и 15 показаны примеры схем компоновки групповых циклонов.

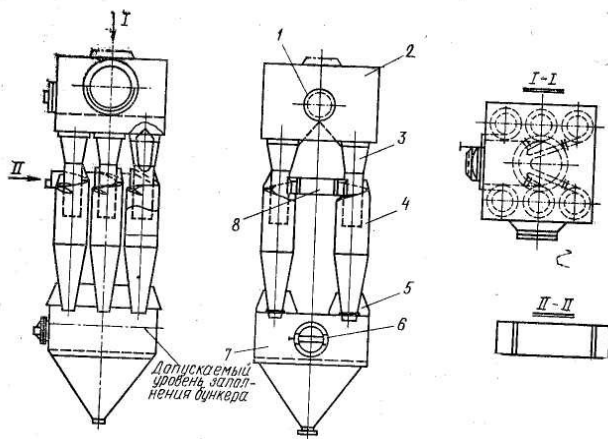


Рисунок 14 – Схема группового циклона из 6 элементов:
 1 – заглушка; 2 – сборник чистого газа; 3 – кольцевой диффузор;
 4 – циклон; 5 – косынка; 6 – люк; 7 – бункер; 8 – коллектор ввода газа

Коэффициент гидравлического сопротивления группы циклонов определяется по формуле

$$\xi_{гц} = \xi_{ц} + K,$$

где $\xi_{ц}$ – коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона;

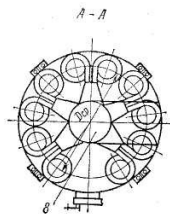
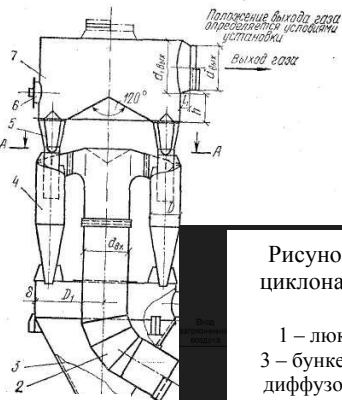
K – коэффициент, учитывающий дополнительные потери давления, связанные с компоновкой циклонов в группу.

Значения коэффициента K :

- при круговой компоновке с нижним организованным подводом $K=60$;
- при прямоугольной компоновке с организованным подводом (циклонные элементы расположены в одной плоскости):
- отвод из общей камеры чистого газа – 35;

– улиточный отвод из циклонных элементов – 28;
 при прямоугольной компоновке при свободном подводе потока в
 общую камеру – 60.

В после
 высокоэффекти
 высокоэффекти
 выбросов от
 промышленнос
 также одиночн



получили
 ые для
 щих
 отраслях
 руппе), а
 а рисунке

Рисунок 16 – Схема циклона СЦН:

- 1 – камера очищенного газа;
- 2 – циклон; 3 – люк; 4 – бункер

Рисунок 15 – Схема группового
 циклона круговой компоновки из
 10 элементов:

- 1 – люк; 2 – газоход подводящий;
- 3 – бункер; 4 – циклон; 5 – кольцевой
 диффузор; 6 – заглушка; 7 – сборник
 газа; 8 – коллектор выхода газа

16 приведена схема циклона СЦН.

В таблице 7 приведены характеристики циклонов СЦН-40 (4 в группе).

Габаритные и присоединительные размеры для различных
 типоразмеров циклонов типа СЦН приведены в таблицах 8 и 9.

Таблица 7 – Характеристики циклонов СЦН-40

Марка циклона	Производительность, м ³ /ч	
	W=1,6 м/с	W=1,9 м/с
СЦН-40-300 x 4	1630	1930
СЦН-40-400 x 4	2890	3430
СЦН-40-500 x 4	4520	5370
СЦН-40-600 x 4	6500	7730
СЦН-40-700 x 4	8950	10630
СЦН-40-800 x 4	11570	13740
СЦН-40-900 x 4	14650	17400
СЦН-40-1000 x 4	18100	21480
СЦН-40-1100 x 4	21900	26000

СЦН-40-1200 х 4	25880	30730
-----------------	-------	-------

Батарейные циклоны

Стремление повысить эффективность очистки больших объемов газа привело к созданию и использованию циклонных элементов малого диаметра (100–250 мм), которые объединяются в одном корпусе в виде батареи. Корпус батарейного циклона, как правило, выполняется секционированным. В каждой секции в зависимости от типоразмера может насчитываться от 12 до 100 циклонных элементов, при этом производительность секции по газу – от 2 до 17 м³/ч, а эффективность очистки в зависимости от конструкции – от 85 до 96 %. В современных аппаратах насчитывается до 792 циклонных элементов при расходе газа до 650 м³/ч. Ось циклонных элементов может располагаться как вертикально, так и наклонно. Батарейные циклоны состояются из возвратно-поступательных и прямоточных циклонных элементов. На рисунках 17 и 18 приведены циклонные элементы батарейных циклонов.

Промышленностью выпускаются батарейные циклоны на базе секции СЭЦ24 типа БП2, БПЦ и ЦРБ-150У. С подробным описанием конструкций батарейных циклонов можно ознакомиться в инженерно-экологическом справочнике под редакцией А.С. Тимонина (Калуга, 2003 г.).

Таблица 8 – Габаритные и присоединительные размеры

Марка группового циклона	D	D_1	D_2	D_3	D_4	D_5	D_6	H	H_1	H_2	H_3	H_4	H_5
СЦН-40-300 х 4	300	274	237	802	920	273	230	2373	1932	1752	664	404	202,0
СЦН-40-400 х 4	400	354	317	1012	1150	273	230	3079	2554	2314	866	536	268,0
СЦН-40-500 х 4	500	415	377	1255	1440	343	300	3742	3111	2813	1003	668	334,0
СЦН-40-600 х 4	600	572	530	1505	1680	343	300	4453	3751	3413	1243	805	402,5
СЦН-40-700 х 4	700	572	530	1745	1920	348	300	5215	4382	4006	1476	937	468,5
СЦН-40-800 х 4	800	677	630	1990	2140	350	300	5957	5033	4602	1709	1068	534,0
СЦН-40-900 х 4	900	767	720	2230	2412	350	300	6694	5677	5193	1940	1200	600,0
СЦН-40-1000 х 4	1000	867	820	2478	2662	350	300	7462	6353	5794	2179	1332	666,0
СЦН-40-1100 х 4	1100	967	920	2718	2902	350	300	8166	6968	6385	2408	1472	736,0
СЦН-40-1200 х 4	1200	967	920	2963	3165	350	300	8955	7624	6981	2644	1604	802,0

Таблица 9 – Габаритные и присоединительные размеры

Марка группового циклона	H_6	H_7	H_8	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	$V, \text{ м}^3$	$M, \text{ кг}$	d	d_1	d_2	d_3
СЦН-40-300 х 4	274	234	822	370	460	100	142	338	0,14	200	12	12	10	24
СЦН-40-400 х 4	354	308	1074	480	575	132	178	444	0,27	360	12	12	10	24
СЦН-40-500 х 4	434	384	1263	588	720	164	215	548	0,5	570	14	12	10	26
СЦН-40-600 х 4	515	462	1553	698	840	198	250	654	0,86	1000	14	12	12	26
СЦН-40-700 х 4	590	538	1836	806	960	230	282	758	1,34	1380	14	14	12	26
СЦН-40-800 х 4	662	614	2119	914	1070	262	310	862	1,98	1880	16	14	12	26
СЦН-40-900 х 4	738	690	2400	1022	1206	294	342	966	2,95	2350	16	14	12	26
СЦН-40-1000 х 4	818	766	2691	1132	1331	326	378	1072	3,83	2980	18	14	14	26
СЦН-40-1100 х 4	902	846	2970	1240	1451	362	418	1176	5,04	4880	18	14	14	26
СЦН-40-1200 х 4	978	922	3256	1348	1582	394	450	1280	6,54	5770	18	14	14	32

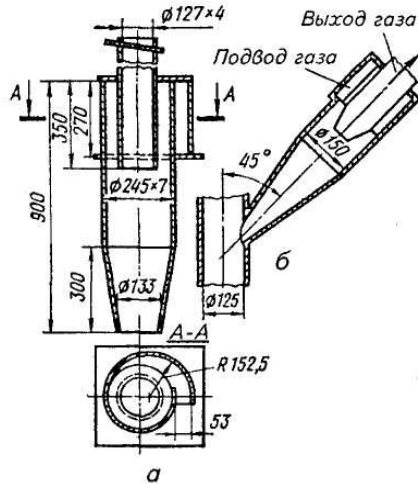


Рисунок 17 – Элементы батарейных циклонов:
 а – циклон «Энергоуголь»; б – циклон конструкции Семибратовского филиала НИИОГгаз

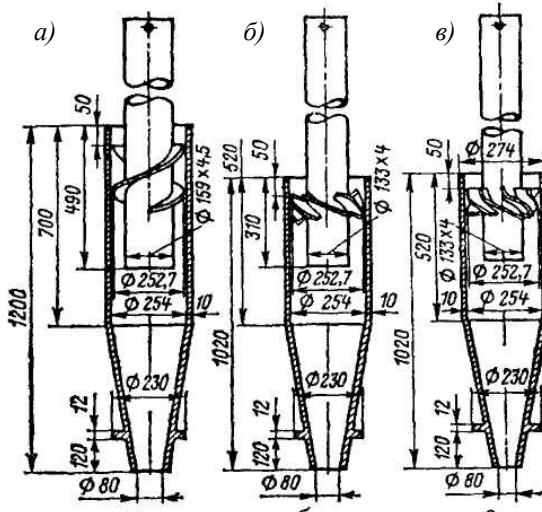


Рисунок 18 (начало) – Циклонные элементы батарейных циклонов с осевым направляющим аппаратом:
 а – с направляющим аппаратом типа «винт»; б – с направляющим аппаратом типа «розетка»;
 в – с направляющим аппаратом типа «розетка» с безударным входом; г – циклонный элемент прямооточного батарейного циклона ЦКТИ

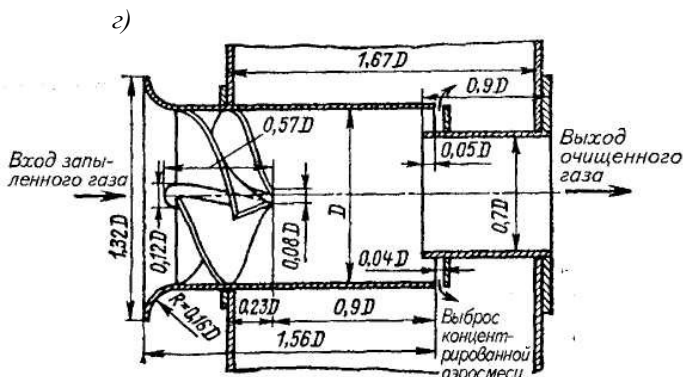


Рисунок 18 (окончание)

Фильтрующие пылеуловители

В фильтрующих пылеуловителях процесс очистки газа от частиц происходит на пористой фильтровальной перегородке, сквозь которую проникает газовая среда и которой задерживаются твердые частицы. Основными механизмами очистки газов являются: инерционный, механизм захвата или касания, электростатический и диффузионный.

Фильтрующие пылеуловители являются аппаратами тонкой очистки газовых потоков от частиц пыли; их эффективность может достигать 99,99 %, поэтому они, как правило, являются последними ступенями очистки.

Для очистки пылегазовых потоков используются следующие типы фильтровального оборудования: с гибкими (тканевыми) фильтрующими перегородками, с набивными волокнистыми перегородками, с жесткими фильтрующими перегородками и насыпными фильтрующими слоями.

По форме фильтровальных элементов приборы с гибкими фильтрующими перегородками подразделяются на рукавные и рулонные.

Наибольшее распространение в промышленности получили рукавные фильтры.

Рукавные фильтры

Рукавные фильтры – широко распространенные и эффективные аппараты пылеулавливания. Их применяют для отделения пыли от газов и воздуха (в том числе аспирационного) в различных отраслях промышленности: в черной и цветной металлургии, химической и нефтяной, строительных материалов, в текстильной, пищевой, деревообрабатывающей промышленности и т.д.

Рукавные фильтры представляют собой аппараты с корпусами прямоугольной или круглой формы. Внутри корпусов подвешены рукава

диаметром от 100 до 300 мм, высотой от 0,5 до 10 м. Фильтрация воздуха или газа осуществляется пропусканием запыленной среды через ткань рукава. В рукавных фильтрах разной конструкции газ может перемещаться в направлении изнутри рукава наружу или наоборот. После того как на фильтрующей поверхности накопится первичный слой пыли, он сам становится частью фильтрующей среды. По мере накопления пыли на фильтре сопротивление движению газового потока через него увеличивается и когда оно приближается к предельно допустимой величине, производят регенерацию рукавов (сбрасывание в бункер накопившегося слоя пыли), что позволяет уменьшить его гидравлическое сопротивление и восстановить начальную скорость фильтрации. Для регенерации используют обратную, импульсную и струйную продувку или механическое встряхивание, которое может применяться в сочетании с обратной продувкой.

Помимо способа регенерации, рукавные фильтры различаются площадью фильтрующей поверхности, допустимой величиной рабочего давления (разрежения), количеством секций, формой, диаметром, высотой и конструктивными особенностями рукавов (наличием каркаса, колец по высоте рукава и т.п.).

Рукавные фильтры обеспечивают очистку воздуха и газов от пыли (в том числе высокодисперсной) эффективностью 99 % и выше.

Степень очистки газа в рукавном фильтре определяется дисперсностью и другими свойствами улавливаемой пыли, качеством фильтровального материала, способом и режимом регенерации, величиной удельной газовой нагрузки, гидравлического сопротивления и др.

Пропускная способность рукавного фильтра зависит от площади фильтрующей поверхности и удельной газовой нагрузки, определяемой по эксплуатационным и опытным данным.

В настоящее время наиболее распространенными типами рукавных фильтров являются: ФРКИ, ФРКН, ФРО, ФРОС, ФРКДИ, ФРУ, УРФМ, СМЦ и др.

Наиболее ответственным узлом, определяющим качество очистки газов, являются фильтровальные элементы, состоящие из фильтровальной перегородки и арматуры, необходимой для функционирования элемента и его крепления в аппарате. Фильтровальные элементы с гибкими перегородками делятся на каркасные и бескаркасные.

В бескаркасных элементах очищаемый поток газа обычно протекает из внутренней полости наружу, в отличие от элементов, снабженных каркасами, где поток направлен снаружи во внутреннюю полость. Бескаркасные фильтровальные элементы чаще всего выполняют в виде цилиндрических рукавов с распорными кольцами или без них (рисунок 19). Рукава изготавливают цельноткаными или сшитыми, причем более

высокими прочностными и фильтровальными свойствами обладают цельнотканые рукава. Однако в промышленности используют большое количество рукавов, изготовленных путем сшивки. Ткани сшивают в замок с загибом кромок, нетканые материалы или тяжелые многослойные ткани – внакладку. Сшивку выполняют в три строчки с числом стежков на 10 мм не менее четырех. Используют нити из тех же волокон, что и фильтровальный материал.

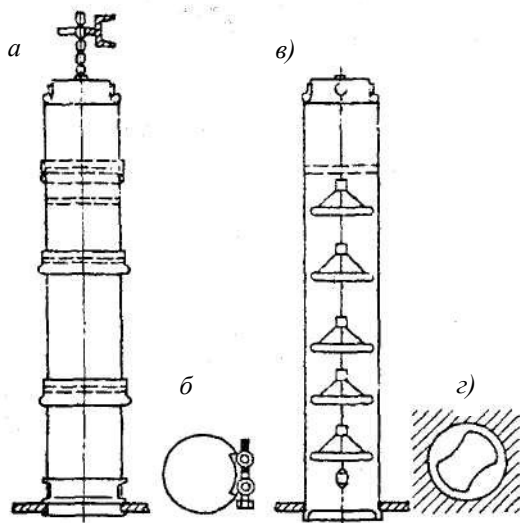


Рисунок 19 – Схема фильтровальных элементов с нижним подводом очищаемого газа:

- a* – рукав со вшитыми распорными кольцами; *б* – рукав с нижним креплением при помощи разъемного хомута; *в* – рукав с подвесными распорными кольцами; *г* – рукав с нижним креплением при помощи пружинного кольца

Распорные кольца выполняют из проволоки диаметром 3–4 мм; их сваривают в стык контактной сваркой. В месте сварки кольцо должно быть тщательно зачищено, чтобы не оставалось заусениц, которые могут повредить фильтровальный материал. Кольца распределяют по длине рукава неравномерно. В верхней части рукавов кольца пришивают на расстоянии 5–6 диаметров рукава от верхнего обреза и друг от друга, в нижней части – на расстоянии 2–3 диаметров рукава. Такое расположение обеспечивает во время регенерации свободный проход продувочного газа.

В нижней части рукава могут крепиться хомутами гайкой. Хомуты выполняют из стальной ленты толщиной 0,5–1 мм, к одной стороне которой точечной сваркой приваривают проушины из той же ленты. Для защиты от коррозии ленту и другие материалы хомута следует выполнять из нержавеющей стали или они должны иметь антикоррозионные покрытия.

При нижней подаче запыленного газового потока верхнюю часть рукавов обычно закрывают глухим металлическим колпаком, посредством которого осуществляют натяжение рукава (рисунок 20). Колпак, в свою очередь, подвешивают к неподвижному кронштейну на цепи или закрепляют при помощи натяжного болта. При наличии цепи натяжение рукавов диаметром 300 мм осуществляют специальным рычажным приспособлением. Путем перестановки звеньев цепи в продольных пазах кронштейна возможно натяжение рукава, которое осуществляется при усиллии 250–400 Н.

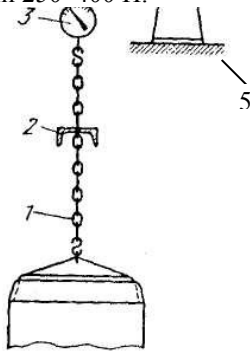


Рисунок 20 – Верхнее крепление фильтровальных рукавов:

1 – цепь; 2 – кронштейн подвеса рукава;
3 – динамометр; 4 – приспособление для натяжки рукавов; 5 – качающийся кронштейн для подвеса рукавов

Тканевые фильтры отличаются по способу подачи пылегазового потока, расположению и конструкции рукавов и их размеру, по виду крепления рукавов, а также методу их регенерации. Определяющими конструктивными особенностями фильтровальных аппаратов являются способ подачи пылегазового потока в рукава и принятая система их регенерации. На рисунке 21 приведены три способа подачи пылегазового потока в рукавный фильтр: верхний, нижний и комбинированный.

При вводе газа в рукав снизу ограничивается возможная длина рукава, так как трудно

обеспечить выпадение пыли в бункер в течение короткого периода встряхивания особенно из верхней части рукава.

При верхнем подводе создаются благоприятные условия для вывода уловленной пыли. В ряде случаев это способствует созданию режима авторегенерации без внешнего импульса системы регенерации. Здесь появляется возможность применения длинных рукавов, однако в этом случае возникает опасность существенного повышения температуры в

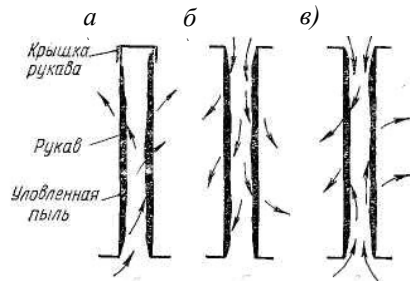


Рисунок 21 – Способ подвода газопылевого потока в рукава:

а – с нижним подводом; б – с верхним подводом; в – с двухсторонним подводом

6 – импульс давления; 7 – реверсивное вращательное устройство; 8 – вибратор

Самым простым способом регенерации является механическое встряхивание (рисунок 23).

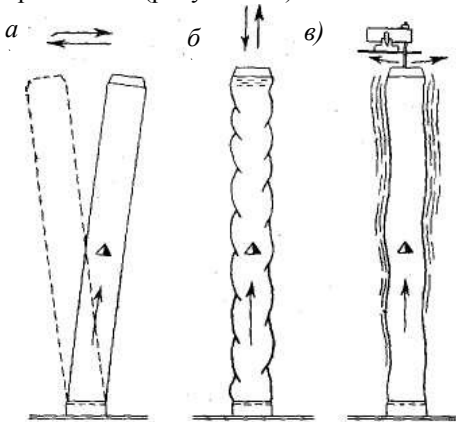


Рисунок 23 – Способы встряхивания рукава:
 а – встряхивание в горизонтальном направлении;
 б – ослабление и натяжение рукава в вертикальном направлении; в – вибрация

меньший износ, но они и менее эффективны, так как колебания слабо распространяются вниз по длине рукавов.

Широкое распространение получил способ регенерации с помощью обратной продувки (рисунки 24, 25).

В технике пылеочистки широко применяется сочетание принципа механического встряхивания и обратной продувки. На рисунке 26 представлена схема фильтров типа ФБК и РФГ заводов «Строммашина».

Хорошая регенерация рукавов достигается применением обратной струйной продувки, которая заключается в следующем. Вдоль рукава (рисунок 27) вверх и вниз движется полое кольцо, через отверстия которого происходит истечение высокоскоростной струи с повышенным давлением,

Механическое встряхивание закрепленных на общей раме закрытых сверху рукавов наиболее эффективно в продольном направлении, т. е. вниз – вверх, но при этом сильно изнашиваются рукава, особенно в нижней части. Встряхивание должно быть кратковременным и резким, но не настолько сильным, чтобы вызвать большие механические усилия в ткани. Колебательные быстрые перемещения верхних частей рукавов в горизонтальном направлении вызывают значительно

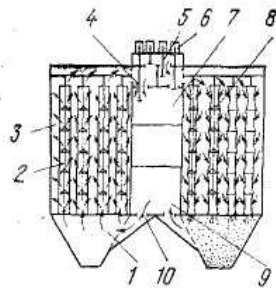


Рисунок 24 – Схема фильтра с обратной продувкой типа ФРО:
 1 – бункер; 2 – фильтровальный рукав;
 3 – камера очищенного газа; 4 – выпускной клапан; 5 – продувочный клапан;
 6 – коллектор продувочного газа; 7 – коллектор очищенного газа; 8 – подвесной каркас с распорными кольцами; 9 – коллектор очищаемого газа; 10 – соединительный газоход

выдувающей пыль в направлении, обратном фильтрации (внутри рукава).

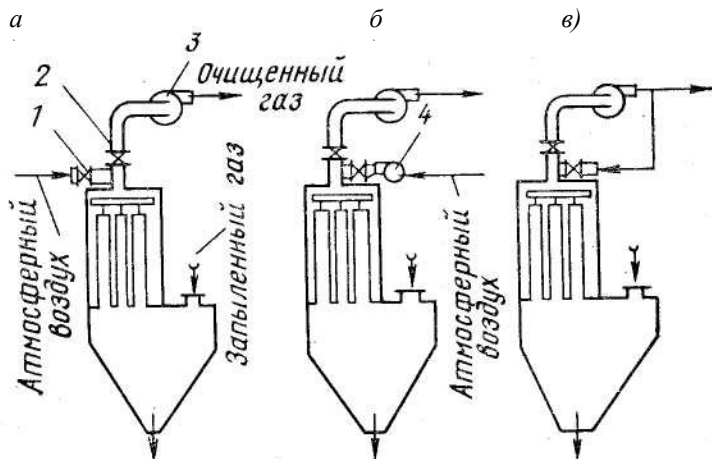


Рисунок 25 – Схемы работы фильтров с обратной продувкой:

а – фильтр с продувкой за счет подсоса воздуха; *б* – фильтр с продувкой с помощью вентилятора продувки; *в* – фильтр с продувкой за счет давления основного вентилятора;

1 – клапан продувочного газа; 2 – клапан очищенного газа; 3 – основной вентилятор; 4 – дополнительный вентилятор

Рисунок 26 – Схема фильтра с регенерацией рукавов путем встряхивания и обратной продувки при подводе запыленного потока снизу:

а – движение газов при фильтрации; *б* – то же при регенерации; 1 – входной патрубок; 2 – корпус фильтра;

3 – рукав; 4 – дроссельная заслонка воздушного патрубка; 5 – дроссельная заслонка выходного патрубка; 6 – коллектор, собирающий очищенный газ;

7 – вал механизма встряхивания; 8 – пылевыгрузное устройство

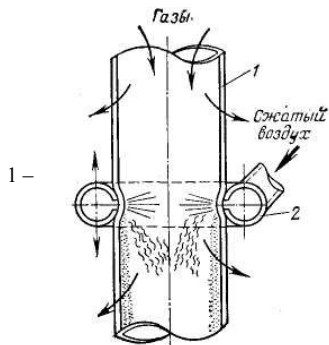
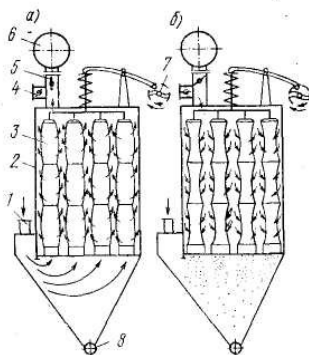


Рисунок 27 – Схема работы рукавного фильтра с обратной струйной продувкой:

рукав; 2 – кольцо со щелью и патрубком для подвода сжатого воздуха.

При таком способе продувки пыль из рукава удаляется полностью по всей длине рукава, так что эффективность пылеулавливания определяется способностью фильтровального материала.

При подаче внутрь каждого фильтра (рукава) импульса сжатого воздуха происходит его встряхивание, а следовательно, и очистка. Такой способ регенерации получил название импульсной продувки или азродинамического встряхивания (рисунок 28).

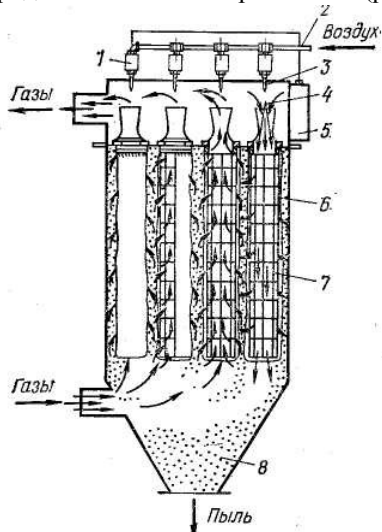


Рисунок 28 – Карманный рукавный фильтр с импульсной продувкой:

- 1 – электромагнитный клапан;
- 2 – труба для ввода сжатого воздуха;
- 3 – сопло; 4 – струи сжатого воздуха;
- 5 – прибор автоматического управления регенерацией; 6 – рукав; 7 – каркас; 8 – бункер

«Строммашина» и др.

Ниже приводятся некоторые наиболее распространенные конструкции рукавных фильтров.

Рукавный фильтр типа ФРКИ-30 (60,90): Ф – фильтр; Р – рукавный; К – каркасный; И – с импульсной продувкой; цифры – площадь фильтрующей поверхности, м² (рисунок 29). В таблице 10 приведены характеристики фильтров.

Фильтровальные материалы: лавсановая фильтровальная, лавсановая ткань; иглопробивной синтетический фильтровальный войлок. Для

Конструкции рукавных фильтров.

Большинство конструкций рукавных фильтров разработано применительно к специфическим физико-химическим свойствам пылегазовых потоков в разных отраслях промышленности. Поэтому многие аппараты изготавливаются индивидуально или малыми сериями. В СНГ выпускается несколько десятков типов фильтров общепромышленного назначения, большинство из них выпускается специализированными заводами: Семибратовским экспериментальным заводом газоочистительной аппаратуры (пос. Семибратово Ярославской обл.), Шебекинским машиностроительным заводом, куйбышевским заводом

нормальных условий эксплуатации необходима установка фильтра в отапливаемом помещении.

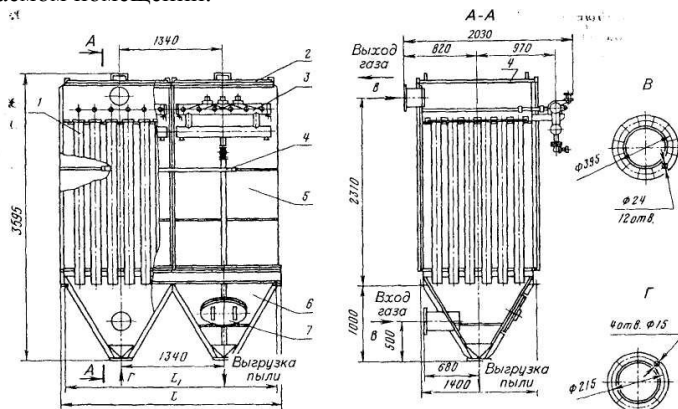


Рисунок 29 – Рукавные фильтры типа ФРКИ-30(60,90):

1 – рукав; 2 – крышка; 3 – клапанная секция; 4 – коллектор; 5 – корпус; 6 – бункер; 7 – люк

Таблица 10 – Характеристики рукавных фильтров типа ФРКИ

Показатель	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90
Поверхность фильтрации, м ²	30	60	90
Количество рукавов	36	72	108
Диаметр рукава	135	135	135
Высота рукава, м	2	2	2
Количество секций	1	2	3
Удельная газовая нагрузка, м ³ /м ² ·мин	1,8	1,8	1,8
Гидравлическое сопротивление, Па	1200–2000	1200–2000	1200–2000
Допустимая запыленность воздуха, г/м ³	20	20	20
Размер L ₁	1300	2700	4000
Размер L	1460	2820	4140

Рукавный фильтр СМЦ-166Б приведен на рисунке 30, а в таблице 11 – его характеристики. В зависимости от требуемой поверхности фильтрации фильтры могут быть сгруппированы в сборки, состоящие из одного и более аппаратов (но не более четырех в одном ряду).

Фильтрующий материал – лавсан. Допускается применение и других материалов с такими же или лучшими физико-механическими свойствами.

Регенерация фильтра осуществляется за счет встряхивания и обратной посекционной продувки.

Рукавные фильтры типа Г4-БФМ. Предназначены для очистки воздуха

от пыли в аспирационных системах, обслуживающих мельницы, крупозаводы и другие предприятия промышленности.

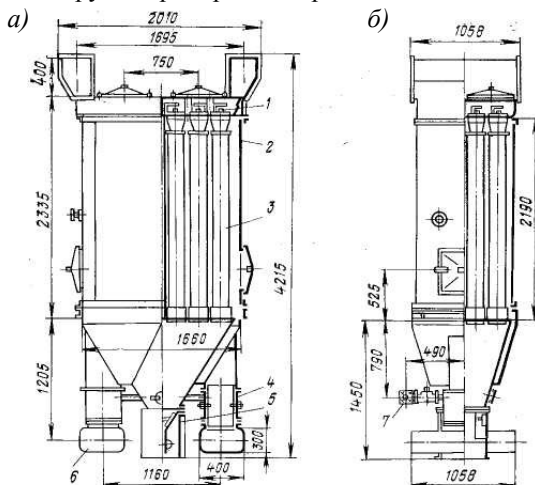


Рисунок 30 – Рукавный фильтр СМЦ-166Б (а – вид спереди; б – вид сбоку):
 1 – подвеска; 2 – корпус; 3 – рукав; 4 – клапан; 5 – затвор; 6 – отводящий коллектор;
 7 – коллектор для сжатого воздуха

Таблица 11 – Характеристики рукавного фильтра СМЦ-166Б

Показатель	СМЦ-166
Поверхность фильтрации, м ²	30
Количество рукавов	24
Диаметр рукава	200
Высота рукава, м	2
Количество секций	2
Удельная газовая нагрузка, м ³ /м ² ·мин	0,8–1,2
Гидравлическое сопротивление, Па	1900
Допустимая запыленность воздуха, г/м ³	50

Фильтр (рисунок 31) состоит из металлического шкафа, матерчатых рукавов, встряхивающего механизма кулачкового типа с электроприводом, сборника пыли, шнека и шлюзового затвора с электроприводом для выгрузки пыли. Шкаф разделен на секции, в каждой из которых размещено по восемнадцать рукавов. Рукава снизу открыты, а сверху заглушены. Очищенный воздух проходит изнутри рукавов наружу. Регенерация осуществляется путем обратной продувки с одновременным механическим встряхиванием. Механизм встряхивания размещен на крышке фильтра. Корпус фильтра – из углеродистой стали. Фильтрующий материал –

фильтровальное сукно № 2.

Фильтры изготовляют двух модификаций (Г4-1БФМ и Г4-2БФМ), различающихся в основном величиной рабочего давления (разрежения) в аппарате, на которое они рассчитаны. Кроме того, для рукавных фильтров первой модификации предусмотрено исполнение с меньшим количеством секций. Технические характеристики фильтров приведены в таблице 12.

Условное обозначение типоразмера фильтра: Г4 – индекс Шебекинского машиностроительного завода.

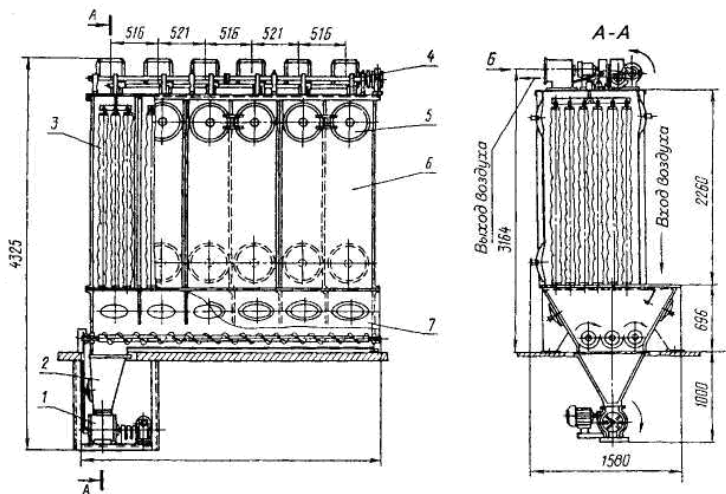


Рисунок 31 – Рукавный фильтр Г4-1БФМ:

1 – шлюзовой затвор с приводом; 2 – сборник пыли; 3 – рукав; 4 – крышка с механизмом встряхивания; 5 – люк; 6 – шкаф; 7 – желоб

Таблица 12 – Характеристики фильтров типа Г4-БФМ

Показатель	Марка фильтра						
	Г4-1БФМ30	Г4-1БФМ45	Г4-1БФМ60	Г4-1БФМ90	Г4-2БФМ45	Г4-2БФМ60	Г4-2БФМ90
Поверхность фильтрации, м ²	30	45	60	90	45	60	90
Количество секций	2	3	4	6	3	4	6
Количество рукавов	36	54	72	108	54	72	108
Диаметр рукава	135	135	135	135	135	135	135
Высота рукава, м	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
Удельная газовая нагрузка, м ³ /м ² ·мин	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2	1,5–2
Гидравлическое сопротивление, Па	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300
Допустимая запыленность воздуха, г/м ³	15	15	15	15	15	15	15
Габаритные размеры, мм:	1435						

длина <i>L</i>	1580	1970	24901	35251	22501	27701	38001
ширина <i>B</i>	4825	1580	580	580	580	580	580
высота <i>H</i>		4825	4825	4825	4825	4825	4825

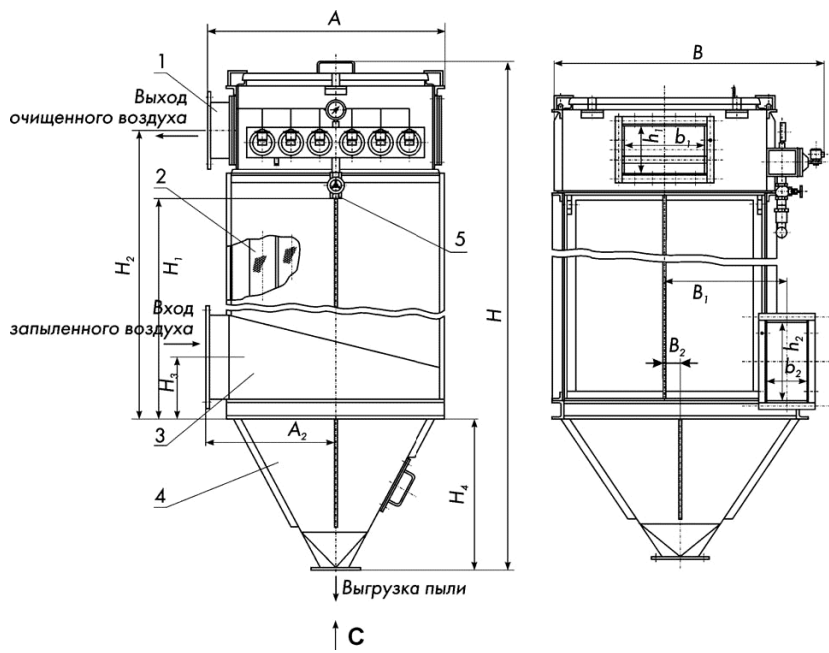
Фильтры рукавные типа ФРИП

Маркировка. В таблице 13 указана стандартная маркировка и присоединительные размеры фильтров ФРИП из углеродистой стали для улавливания невзрывоопасных пылей при температуре воздуха не выше 130 °С, на рисунках 32 и 33 приведены их схемы.

Таблица 13 – Стандартная маркировка фильтров ФРИП из углеродистой стали

Показатель Фильтры рукавные типа ФРИП (по площади поверхности фильтрования, м ²)								
	5	10	15	30	60	90	180	360
Производительность по очищаемому газу, м ³ /ч, не более	540	1080	1620	3240	6500	9700	19400	38400
Площадь поверхности фильтрования, м ² , не менее	5	10	15	30	60	90	180	360
Количество секций	1	1	1	1	2	3	1	2
Массовая концентрация пыли в очищаемом газе на входе, г/м ³ , не более	50	50	50	50	50	50	50	50
Гидравлическое сопротивление, кПа, не более	1,2–2 (120–200)	11,2–2 (120–200)	1,2–2 (120–200)	11,2–2 (120–200)	1,2–2 (120–200)	1,2–2 (120–200)	1,2–2 (120–200)	1,2–2 (120–200)
Давление продувочного воздуха, МПа (кгс/см ²)	0,3–0,6 (3–6)	60,3– 0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)	0,3–0,6 (3–6)
Наибольший расход продувочного воздуха, м ³ /ч	1,7	3,5	5	10	20	30	60	120
Допустимое давление (разрежение) внутри аппарата, кПа (кгс/м ²)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)	5 (500)
Габаритные размеры, мм:								
длина, <i>L</i>	820	990	1280	1280	2270	3300	2565	4940
ширина, <i>B</i>	110	1440	1540	1540	1540	1540	2650	2670
высота, <i>H</i>	2320	2316	2480	3489	3489	3480	6090	6090
Масса, кг, не более	320	410	600	800	1300	1900	3900	9200

В случае, когда фильтры предназначены для очистки воздуха от взрывоопасных пылей при более высокой температуре, их корпус изготавливается из антикоррозионной стали, и маркировка дополняется индексом: Т – температуростойкий; В – взрывозащищенный; К – коррозионностойкий; число указывает на площадь фильтровальной поверхности. Примеры: ФРИП-15В, ФРИП-30К, ФРИП-60Т, ФРИП-60ВТ, ФРИП-60ВК и т.д.



С

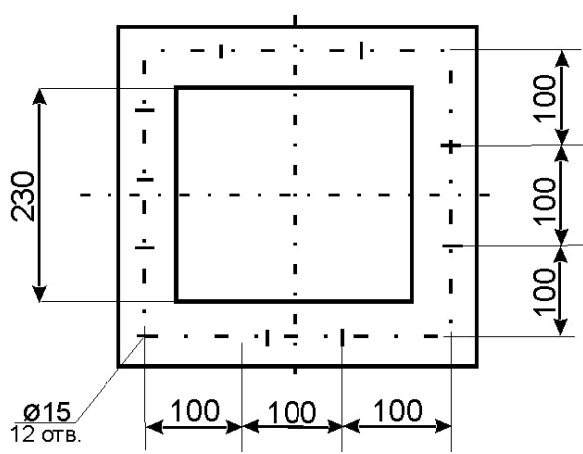


Рисунок 32 – Схема фильтров рукавных типа ФРИП-15; ФРИП-30; ФРИП-180:
 1 – выходной патрубок; 2 – фильтрующий рукав; 3 – входной бункер;
 4 – бункер; 5 – патрубок для подключения сжатого воздуха

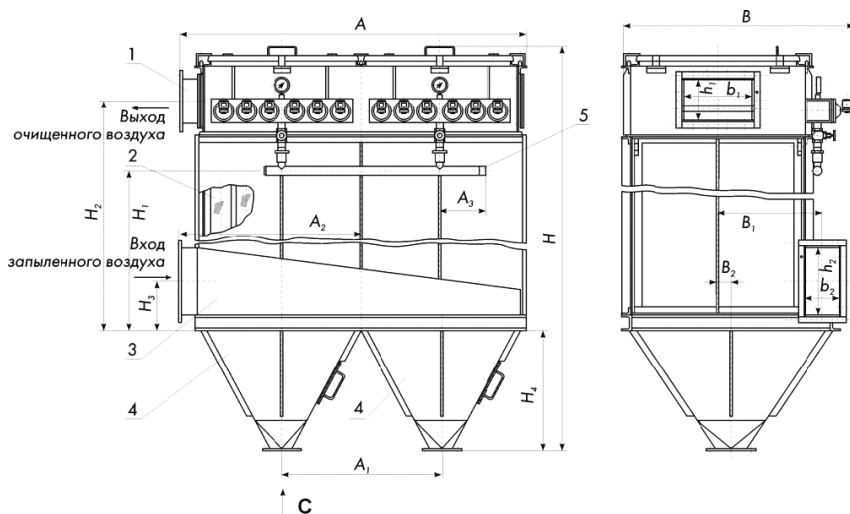


Рисунок 33 – Схема фильтров рукавных типа ФРИП-60; ФРИП-360
 1 – выходной патрубок; 2 – фильтрующий рукав; 3 – входной патрубок; 4 – бункер;
 5 – патрубок для подключения сжатого воздуха

На рисунке 34 приведен общий вид фильтра типа ФРИП.

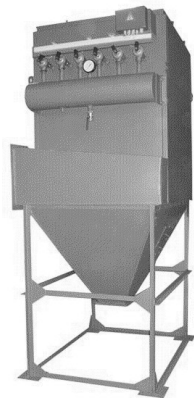


Рисунок 34 – Общий вид фильтра типа ФРИП

Характеристики волокнистых фильтровальных материалов. Фильтровальные материалы – основной элемент в аппаратах, действие которых основано на отделении твердых частиц из газов путем пропускания газа через перегородки. **Основными требованиями, предъявляемыми к фильтровальным материалам, являются:**

- термостойкость и сохранение первоначальных размеров или изменение их в допустимых пределах (усадка либо удлинение не более 0,5 %) при рабочей температуре и влажности аэрозолей;
- химическая стойкость по отношению к аэрозолю;
- низкая гигроскопичность;
- высокая воздухопроницаемость в запыленном состоянии при достаточной пылеемкости;
- высокое сопротивление износу, разрыву и изгибу, многократным деформациям при фильтрации, регенерации, нагреве и охлаждении;
- легкость удаления пыли при регенерации, способность удерживать

часть пыли, необходимую для эффективного последующего фильтрования.

Для выполнения этих требований наиболее широкое распространение получили фильтры из волокинистых материалов. Волокна, используемые для получения фильтровальных материалов, делятся на натуральные и химические. К натуральным относятся волокна, которые формируются в природных условиях и состоят в основном из органических высокомолекулярных соединений. К натуральным принято также относить минеральные волокна, полученные из асбеста. К химическим относятся волокна, которые получают в заводских условиях из органических, природных и синтетических полимеров или неорганических соединений (например кварца, углерода, металлов).

Химические волокна выпускают в виде моноволокна (одиночных волокон большой длины), штапельного волокна (коротких отрезков тонких волокон) и филоментных нитей, представляющих собой пучок тонких и очень длинных волокон, соединенных посредством крутки.

Большее распространение получили фильтровальные материалы из синтетических волокон, сырьем для производства которых служат вещества из природного газа, нефти и каменноугольной смолы. Широко применяются материалы из полиэфирных волокон, техническое название которых в Советском Союзе – лавсан, в США – дакрон, в Великобритании – терилен. Пользуются также спросом **полиакринитриальные** волокна, техническое название которых в Советском Союзе – нитрон, в США – орлон, в Великобритании – куртель.

Кроме того, для фильтрования газов получили распространение материалы из стеклянных волокон с более высокой термостойкостью, чем материалы из полиэфирных волокон, но с более низкой изгибостойкостью.

В настоящее время отечественная легкая и химическая промышленность выпускает следующие фильтровальные материалы из синтетических и искусственных волокон. Наиболее пригодные из них для обеспыливания аэрозолей приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Фильтровальные материалы из синтетических и искусственных волокон, наиболее пригодные для обеспыливания аэрозолей

Фильтровальный материал	Толщина, мм	Воздухопроницаемость, л/(м ² · с), при 50МПа	Термостойкость, °С	Вид изделия	Завод изготовитель
Войлок иглопробивной с каркасом (лавсан)	2,5	140	130	Полотно	Одеяльно-платочная ф-ка, г. Москва
Сукно техническое полушерстяное ЦМ	1,5	244	90	Полотно	К-т им. Тельмана, г. С.-Петербург
Сукно № 2 (шерсть + хлопок)	1,5	50	90	Полотно	Завод «Красный Октябрь», г. Сурск

Окончание таблицы 14

Фильтровальный материал	Толщина, мм	Воздухопроницаемость, л/(м ² · с), при 50МПа	Термостойкость, °С	Вид изделия	Завод изготовитель
Сукно техническое полушерстяное РЦІ	1,5	46	90	Полотно	К-т им. Тельмана, г. С.-Петербург
Ткань техническая фильтровальная оксалоновая ТТО-3 и ТТО-4	0,7	110	200	Полотно	Завод искусственного волокна, г. Светлогорск
Ткань стеклянная фильтровальная техническая текстурированная ТСФТ-2-С-СГФ	0,55	90	250	Полотно, рукав	Завод стекловолокна, г. Полоцк
Стеклоткань РСФ(Б)-0, алюмоборосиликатная	0,37	100–180	250	Рукав	То же
Стеклоткань ТСФ(Ш)-0, уток штапельный	0,65	160	160	Полотно	”
Стеклоткань ТСФТ-2-0, уток–саржа 3/1	0,55	90	220	Полотно	”
Стеклоткань ТСФТ-2-СТФ, покрытие силикон-графитфторопластовое, саржа 3/1	0,55	200	200	Рукав	”

Новые пылеочистные устройства

Научно-исследовательской лабораторией очистки и утилизации выбросов промышленных предприятий Белорусского национального технологического университета (НИЛ «Экопром БНТУ») разработан ряд новых устройств для очистки промышленных выбросов от пыли.

Комбинированный конический циклон

Комбинированный конический циклон КЦЭ относится к устройствам инерционного типа. Он может быть использован для очистки от различного вида пылей. Схема циклона КЦН приведена на рисунке 35.

В таблице 15 приведены сравнительные технико-экономические показатели работы циклонов КЦЭ и ЦН-15.

Циклоны КЦЭ всегда применяются в одиночном исполнении. Разработчиком создан типоразмерный ряд циклонов производительностью 1,5–25 тыс. м³/ч.

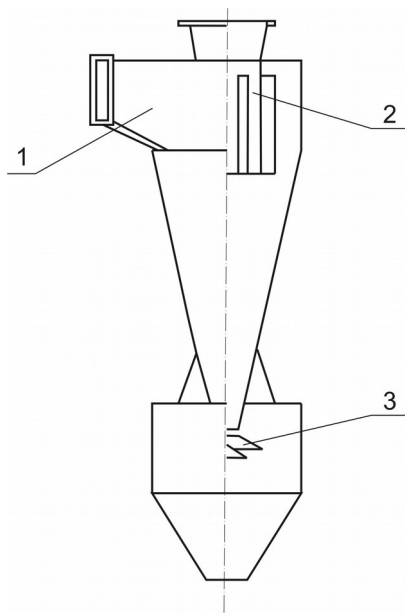


Рисунок 35 – Схема циклона КЦЭ:
1 – входной патрубок; 2 – выхлопная труба; 3 – противоуносный узел

Двухступенчатая система пылеулавливания

Двухступенчатая система пылеулавливания (ДСП) предназначена для очистки запыленных вентиляционных выбросов в различных отраслях промышленности, может быть использована на предприятиях по переработке и хранению зерна. Принципиальная схема ДСП приведена на рисунке 36.

Таблица 15 – Сравнительные технико-экономические показатели работы циклонов КЦЭ и ЦН-15

Показатель	Тип циклона	
	ЦН-15	КЦЭ
Оптимальная скорость газа ($W_{опт}$), м/с	3,5	5,0
Средний размер частиц, улавливаемых в циклоне на 50 % (D_{50}), мкм	4,5	1,9
Фракционная эффективность очистки от пыли ($\eta_m=10$ мкм, плотность 2,7 г/см ³), %	80	86
Общая степень очистки газов, %	75	93
Коэффициент местного сопротивления	15	10
	5	2

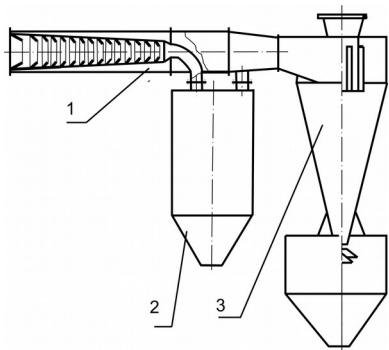


Рисунок 36 – Принципиальная схема ДСП:
1 – инерционный фильтр; 2 – бункер накопитель; 3 – комбинированный конический циклон

ДСП состоит из двух последовательно расположенных установок очистки газа. На первой ступени газ очищается инерционным фильтром, состоящим из цилиндрического корпуса, в котором расположен ряд конических колец, сужающихся по направлению движения газового потока. Внутренняя поверхность колец создает аэродинамический эффект, за счет которого частицы пыли концентрируются вдоль оси и выводятся в бункер-накопитель. В качестве второй ступени

очистки используется циклон КЦЭ.

Конструкция установки позволяет эффективно улавливать высокодисперсные пыли. Типоразмерный ряд ДСП рассчитан на производительность от 1,5 до 25 тыс.м³/ч. В таблице 16 приведены технико-экономические показатели работы ДСП и циклонов ЦОЛ и 4БЦШ.

Таблица 16 – Техничко-экономические показатели работы ДСП и циклонов ЦОЛ и 4БЦШ

Показатель	Тип системы пылеулавливания		
	Циклоны		
	ЦОЛ	4БЦШ	ДСП
Среднемедианный размер частиц, улавливаемых на 50 %, (D_{50}), мкм	6,6	4,3	1,9
Фракционная эффективность очистки от пыли ($\eta_m=10$ мкм ,плотность 2,7 г/см ³), %	75	80	86
Общая степень очистки от пыли, %	88,4	92,3	98,5
Гидравлическое сопротивление	840	890	1050

Циклон-фильтр

Циклон-фильтр (ЦФ) относится к сухим инерционным пылеуловителям и может применяться в различных областях промышленности, в том числе и для очистки газа от древесных частиц.

Принципиальная схема фильтра-циклона приведена на рисунке 37.

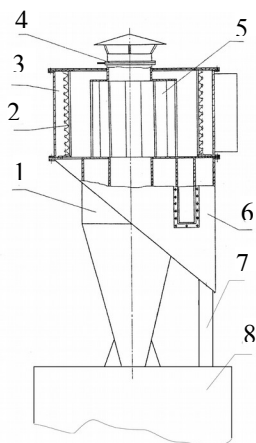


Рисунок 37 – Принципиальная схема циклона-фильтра:

1 – конический циклон; 2 – фильтр тонкой очистки; 3 – камера очищенного газа; 4 – шиберный затвор; 5 – узел регенерации; 6 – пылесборник; 7 – пылеотводящая труба; 8 – бункер-накопитель

накопителем циклона.

Фильтрующий материал натягивается на металлический пружинный каркас, внутри которого вертикально по окружности установлены восемь стальных стержней. Такая конструкция каркаса создает гофрированную фильтрующую поверхность, увеличивая площадь контакта с газом и снижая аэродинамическое сопротивление.

Запыленный газовый поток вводится в корпус циклона через тангенциальный входной патрубок. Под действием центробежных сил, возникающих при вращении основного запыленного потока в полости корпуса циклона, в его верхней части происходит отделение частиц из потока на стенку. Твердые частицы в виде винтообразного пылевого шнура транспортируются нисходящими вторичными течениями потока вдоль стенки корпуса в его нижнюю часть. В результате вращательного движения потока вдоль оси корпуса циклона образуется зона пониженного по сравнению с периферией давления, за счет этой разницы давлений очищенные слои пристенного газа разворачиваются к выхлопной трубе. При достижении определенного значения концентрации пыли, превышающей несущую способность среды, происходит выпадение твердых частиц в бункер. Газовый поток, который проникает в бункер, резко теряет свою скорость и изменяет свое направление на обратное. В результате этого происходит осаждение частиц пыли, т.е. заканчивается процесс пылеулавливания в циклоне. Освобожденный от крупных и средних

Предлагаемая установка совмещает в одном аппарате очистки циклон и фильтр. Циклон содержит цилиндрикоконический корпус, входной патрубок для подачи запыленного воздуха, осевую выхлопную трубу, бункер-накопитель. Нижней конической частью циклон соединяется с бункером-накопителем. Нижней конец выхлопной трубы соединен с инерционным отделителем, а верхний – с цилиндрическим центробежным сепаратором.

На циклоне смонтирована вторая ступень, которая включает в себя цилиндрический корпус, выхлопную трубу с шиберным затвором, рукавный фильтр, пылесборник с наклонным днищем, который соединен пылеотводящей трубой с бункером-

фракций, закрученный восходящий поток попадает в полость корпуса циклона и устремляется к выхлопной трубе. В цилиндрическом центробежном сепараторе происходит дополнительное закручивание потока. В фильтрующих элементах происходит вторичная очистка газа от мелких фракций, которые фильтруются через волокнистый материал, за счет перепада давлений. Под действием гравитационных сил они осыпаются в пылесборник и далее в бункер-накопитель циклона.

Пылеулавливающие установки для деревообработки

В настоящее время широкое распространение получили устройства очистки воздуха, отсасываемого от деревообрабатывающих станков, с выпуском его в атмосферу производственного помещения. При достаточном обосновании возможно применение таких фильтров для очистки воздуха от других неслипающихся и неволокнистых механических примесей.

Принцип действия таких фильтров основан на предварительном выделении из потока крупных частиц и тонкой очистке воздуха в фильтровальной ткани. К практически одинаковым по конструкции можно отнести фильтры моделей:

УОС-1, УОС-2, УОС-3 (производитель – «Техноприбор», г. Могилев) – производительность фильтров по воздуху – не менее 3400 м³/ч, число, стоящее после обозначения модели, означает количество фильтровальных рукавов и мешков для сбора пыли. Схема фильтра УОС-2 представлена на рисунке 38;

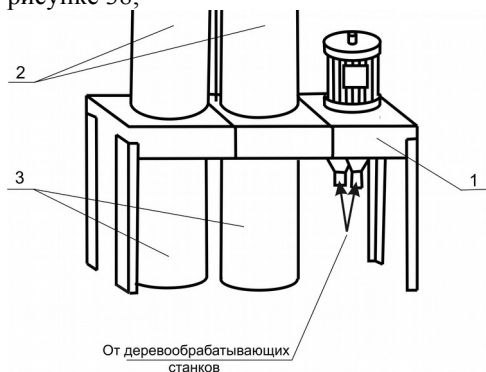


Рисунок 38 – Устройство для отсоса стружки модели УОС-2:

1 – вентилятор; 2 – фильтр тканевый; 3 – мешок для сбора стружки

стружки не более 0,25 м³/мин. Оно,

ОС-1700

– производительность по воздуху не менее 1700 м³/ч, количество фильтровальных мешков – один (рисунок 39);

ВЗ-382 (производитель – предприятие «ВИЗАС», г. Витебск) – производительность по воздуху – не менее 2000 м³/ч (рисунки 40, 41).

Все перечисленные устройства имеют степень очистки воздуха не менее 95,4 %.

Устройство ВЗ-382 предназначено для удаления отходов деревообрабатывающего оборудования с

интенсивностью образования как и подобные устройства,

предназначено для небольших по объему производства деревообрабатывающих цехов, мастерских и кооперативов.

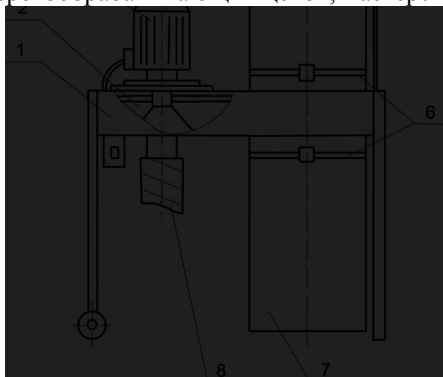


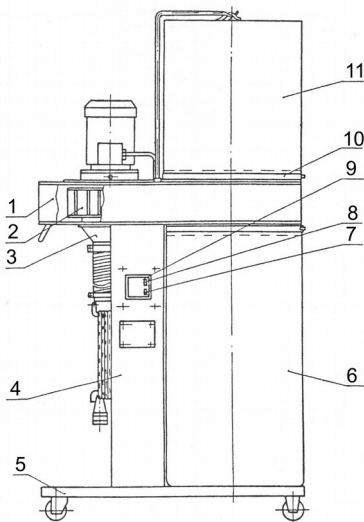
Рисунок 39 – Устройство для отсоса стружки модели ОС-1700:

1 – корпус; 2 – вентилятор; 3 – электродвигатель; 4 – фильтр тканевый; 5 – кронштейн; 6 – бандаж (ремень); 7 – мешок; 8 – рукав

Рисунок 41 – Устройство для отсоса стружки модели ВЗ-382:

1 – корпус вентилятора; 2 – рабочее колесо; 3 – входной коллектор; 4 – стойка; 5 – основание; 6 – мешок; 7, 8 – кнопки управления; 9 – пускатель магнитный; 10 – крепление мешка; 11 – фильтр

Рисунок 40 – Внешний вид устройства для отсоса стружки модели ВЗ-382



Барановичским ЗАО «Беллестехмонтаж» выпускаются фильтры ФКМД-1, ФРМД-1, ФРДС-1, ФРБМ-1, предназначенные для аспирации и очистки от механических примесей воздуха, отсасываемого от деревообрабатывающих станков, и выпуска его в атмосферу цеха. Фильтры устанавливаются внутри производственного помещения. Технические характеристики приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Технические характеристики фильтров ФКМД-1, ФРМД-1, ФРДС-1, ФРБМ-1

Параметр	ФКМД-1	ФРМД-1	ФРДС-1	ФРБМ-1
Производительность, тыс. м ³ /ч	1,5–2	3–4	6,8	8–10
Разряжение во всасывающем патрубке, Па	1200–1100	1800–1600	3300–2700	3300–2700
Число рукавов, шт.	1	7	16	20
Диаметр рукавов, мм	220	220	220	200
Номер вентилятора	2,5	3,15	4	6

Внешний вид фильтров ФКМД-1, ФРДМ-1, ФРДС-1 приведен на рисунках 42–44.

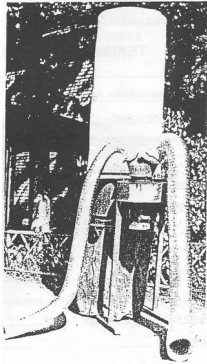


Рисунок 42 – Внешний вид фильтра ФКМД-1

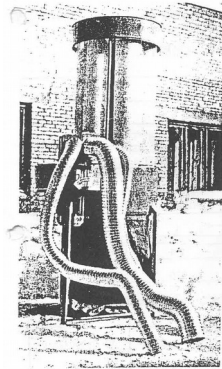


Рисунок 43 – Внешний вид фильтра ФРДМ-1

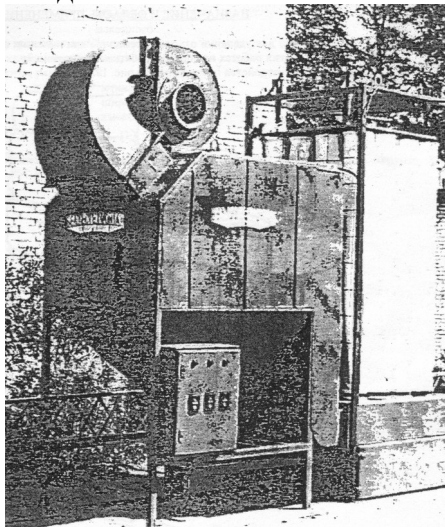


Рисунок 44 – Внешний вид фильтра ФРДС-1

Пылеулавливающие установки для заточно-шлифовальных станков

Для улавливания пыли, отсасываемой от укрытий абразивных кругов заточных, обдирочных и шлифовальных станков, промышленностью разработан ряд пылеулавливающих устройств. ЗАО «СовПлим» (г. Санкт-Петербург) разработан типоразмерный ряд вентиляционных пылеулавливающих агрегатов ПУМА производительностью по воздуху от 800 до 4000 м³/ч (ПУМА-800, 1000, 1500, 2000, 2500 и 4000). Наибольшее распространение получили вентиляционные пылеулавливающие агрегаты ПУМА-800, ПУМА-1000. Московским автомобильным заводом им. Лихачева разработан пылеулавливающий агрегат ЗИЛ-900. Оба устройства осуществляют двухступенчатую очистку воздуха: первая ступень очистки – сухой циклон; вторая ступень – рукавный тканевый фильтр. Предприятием ВИЗАС (г. Витебск) выпускается пылесос В19-101, предназначенный для улавливания абразивной пыли, образующейся при работе универсально-заточных станков. Его производительность по воздуху составляет 300 м³/ч. Агрегаты работают по рециркуляционной схеме, т. е. очищенный воздух поступает обратно в помещение. Пылеулавливающие устройства можно применять для улавливания других видов неслипающихся и неволокнистых пылей.

На рисунке 45 представлен внешний вид пылесоса В19-101. На рисунках 46 и 47 приведены схемы агрегатов ПУМА и ЗИЛ, а в таблицах 18 и 19 – их технические характеристики.

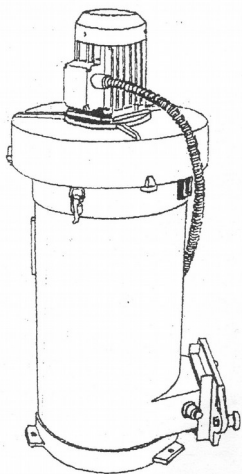


Рисунок 45 – Пылесос В19-101

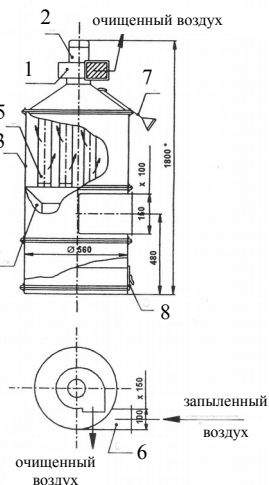


Рисунок 46 – Пылеулавливающий агрегат ПУМА-800:

- 1 – вентилятор; 2 – электродвигатель; 3 – корпус;
 4 – сухой циклон; 5 – фильтр тонкой очистки;
 6 – входной патрубок; 7 – встряхивающий механизм;
 8 – бункер

Таблица 18 – Технические характеристики агрегатов ПУМА

Тип агрегата		ПУМА-800		ПУМА-1000	
Комплектация вентилятором		FUA-1800/СП	FUA-1800/СП	FUA-1800/СП	FUA-1800/СП
Электродвигатель	тип	АИР63В2У3	АИР71А2У3	АИР63В2У3	АИР71А2У3
	мощность, кВт	0,55	0,75	0,55	0,75
	частота вращения, мин ⁻¹	2730	2820	2730	2820
Эффективность пылеулавливания, %		98–99	97–98	99–99,5	98–99
Гидравлическое сопротивление, Па		1400	1500	1200	1300
Масса агрегата		100		120	
Габаритные размеры		1800×600×600		2000×670×670	

Таблица 19 – Технические характеристики агрегатов ЗИЛ

Диаметр крыльчатки, мм	400
Число оборотов крыльчатки, мин ⁻¹	2880
Производительность, м ³ /ч:	
– по чистому воздуху	900
– при заточно-шлифовальных работах	700
Разряжение во всасывающем патрубке, Па	2000
Эффективность пылеулавливания, %	99,5
Электродвигатель АО-41-2Ф2, 2880 мин ⁻¹ , мощность, кВт	1,7

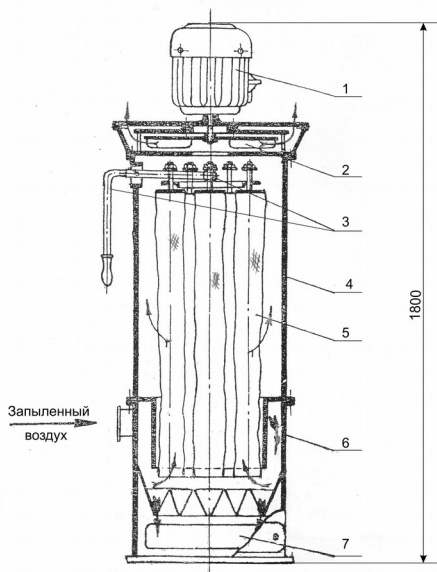


Рисунок 47 – Пылеулавливающий агрегат ЗИЛ-800:
 1 – электродвигатель; 2 – вентилятор; 3 – механизм встряхивания;
 4 – корпус; 5 – семирукавный матерчатый фильтр; 6 – циклон; 7 – совок

Воздушные фильтры фирмы «PlymoVent»

В настоящее время на предприятиях различных отраслей получили широкое применение современные фильтры, выпускаемые СП «СовПлим». Предприятие предлагает широкий спектр фильтров, позволяющих производить очистку воздуха от сварочных аэрозолей, масляного тумана и пыли. Конструкция фильтров предусматривает двухступенчатую очистку воздуха (первая ступень – механическая очистка в специальном фильтре предварительной очистки, вторая ступень – очистка воздуха в электростатическом фильтре).

Фильтры серии EF разработаны фирмой «PlymoVent» и предназначены для очистки воздуха от взвешенных твердых частиц. Такие фильтры можно использовать в сварочном производстве. Их эффективность составляет до 95 %. Преимущество таких фильтров заключается в том, что после очистки воздух выбрасывается в помещение, таким образом можно сократить мощность, потребляемую системами общеобменной вентиляции производственных помещений и снизить затраты на подогрев приточного воздуха. Используемые в таких фильтрах фильтрующие элементы имеют большую пылеемкость и могут эксплуатироваться в течение длительного

периода времени. Конструкция фильтров предусматривает удобный доступ к фильтрующим элементам, которые при загрязнении промываются водой или щелочным раствором. Принцип работы фильтров серии EF основан на двухступенчатой очистке. На первой ступени частицы размером более 50 мкм улавливаются в алюминиевом фильтре предварительной очистки, далее воздух попадает в ионизационную камеру, где частицы пыли заряжаются до 12 000 В, затем они попадают в осадительную камеру, где притягиваются к пластинам. В таблице 20 приведены характеристики некоторых моделей таких фильтров.

Таблица 20 – Характеристики фильтров

Модель электростатических фильтров типа EF или EFO	Рекомендуемый максимальный расход воздуха через фильтр, м ³ /ч	Площадь активной фильтрующей поверхности, м ²
EF-2000, EF-2000/AL; EFO-2000, EFO-2000/AL	1000–1800	9,6
EF-3000, EF-3000/AL; EFO-3000, EFO-3000/AL	1500–2800	16,4
EF-5000, EF-5000/AL; EFO-5000, EFO-5000/AL	3000–4800	32,8

Фильтры EFO применяются, как правило, для очистки воздуха от масляного тумана.

Самоочищающиеся кассетные фильтры серии MFE для очистки воздуха от дыма и пыли. Кассетные модульные фильтры MFE получили широкое применение на предприятиях металлообрабатывающей, химической, фармацевтической, пищевой промышленности, при производстве строительных материалов и удобрений. Они имеют высокую эффективность очистки – до 99,97 %. Модуль MFE имеет 4 долговечные фильтрующие кассеты. Особенностью конструкции таких фильтров является то, что из модулей, как из кубиков, можно собрать фильтр любой конфигурации и любой производительности (от 2000 до 80 000 м³/ч). Таким образом, при изменении объема производства или производственной программы отпадает необходимость в замене фильтра. Можно просто добавить или убрать модули. Таким образом, модульная конструкция фильтра удобна в эксплуатации. Особенностью конструкции фильтров серии MFE является то, что они являются самоочищающимися. Самоочистка осуществляется автоматически без прекращения работы фильтра. При этом внешние поверхности фильтрующих кассет очищаются при помощи «встряски» за счет пульсирующего давления воздуха. Процесс самоочистки позволяет снизить затраты на обслуживание фильтров и обеспечивает длительный срок эксплуатации фильтрующих кассет. В нижней части фильтра устанавливается металлический бункер с заслонкой

для сбора осажденной пыли. Очищенный воздух может снова подаваться в помещение. В таблице 21 приведены характеристики таких фильтров (для минимального и максимального числа модулей).

Таблица 21 – Характеристики фильтров

Модель, число стандартных модулей	Расход воздуха через фильтр, м ³ /ч	Активная фильтрующая поверхность, м ²	Число кассет	Масса, кг
MFE 01 H1 V1 (фильтр из 1 модуля)	2000–6000	100	4	240
MFE 01 H4 V4 (фильтр из 16 модулей)	32000–80000	1600	64	3059

Механический фильтр серии MW предназначен для очистки воздуха от аэрозоля масляного тумана и пылевых частиц, размер которых от 200 до 0,1 мкм. Производительность фильтра – до 1000 м³/ч.

Механический фильтр серии MF предназначен для очистки воздуха от сухих частиц пыли и дыма, размер которых от 200 до 0,1 мкм. Производительность фильтра – до 1500 м³/ч.

Механический фильтр серии MF-20-31 предназначен для очистки воздуха от сухих частиц пыли и дыма, размер которых от 200 до 0,1 мкм. Производительность фильтра – до 2500 м³/ч.

Механический фильтр серии ME-21-42 предназначен для очистки воздуха от аэрозоля масляного тумана и пылевых частиц, размер которых от 200 до 0,1 мкм. Производительность фильтра – до 41000 м³/ч.

Кассетный фильтр серии S-1 предназначен для очистки воздуха от сухих частиц пыли и дыма, размер которых от 200 до 0,05 мкм. Производительность фильтра – до 1400 м³/ч. Фильтр снабжен системой самоочистки.

Передвижные фильтровентиляционные агрегаты серии EMK и MSF. Используются для очистки воздуха при выполнении работ на непостоянных рабочих местах. Их особенностью является то, что они являются мобильными и могут перемещаться по всей площади производственных помещений. Эти устройства имеют вентиляционный агрегат и фильтр, смонтированные в одном корпусе, который имеет колеса, позволяющие легко передвигать агрегат от одной рабочей позиции к другой. Агрегаты серии EMK оснащены электростатическим фильтром, серии MSF – самоочищающимся 2-кассетным фильтром. Применение таких агрегатов позволяет локализовать и удалять вредности непосредственно из зоны их выделения. В конструкцию передвижных фильтровентиляционных агрегатов входит гибкое местное вытяжное устройство типа KUA с радиусом действия от 2 до 4 м, которое крепится сверху на корпусе

агрегата. Очищенный воздух может направляться снова в производственное помещение. Передвижные агрегаты ЕМК снабжаются фильтрующими элементами, предназначенными для длительного срока эксплуатации. При загрязнении они промываются водой. Кассеты фильтров MSF очищаются автоматически без остановки работы фильтра. В таблице 22 приведены характеристики таких фильтровентиляционных агрегатов.

Таблица 22 – Характеристики фильтровентиляционных агрегатов

Модель	Параметры двигателя вентилятора	Максимальный расход воздуха через воронку, м ³ /ч	Активная фильтрующая поверхность, м ²	Степень очистки, %	Масса, кг	Уровень шума, дБА
ЕМК-1400	0,75кВт 220В	1200	9,6	95	91	64
ЕМК-1600	0,75кВт 220В	1500	16,4	95	118	69
MSF-2000	0,75кВт 220В	2000	50,0	99,9	190	70

КОНТРОЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЫЛЕГАЗОУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Основной величиной, характеризующей работу пылеулавливающих аппаратов, является коэффициент обеспыливания газов (степень очистки, коэффициент полезного действия).

Эффективность очистки η может быть определена по содержанию пыли в газах до поступления в газоочистной аппарат и на выходе из него:

$$\eta = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}, \quad (14)$$

где $C_{\text{вх}}$, $C_{\text{вых}}$ – массовые концентрации пыли на входе в газоанализаторе и выходе из него.

В связи с тем, что количество газа, входящего в газоочистной аппарат и выходящее из него за счет утечек и подсосов, как правило, отличаются друг от друга, эффективность аппарата следует определять по формуле

$$\eta = \frac{V_{\text{а}}^{\text{вх}} C_{\text{а}}^{\text{вх}} - V_{\text{а}}^{\text{вых}} C_{\text{а}}^{\text{вых}}}{V_{\text{а}}^{\text{вх}} C_{\text{а}}^{\text{вх}}} = 1 - \frac{V_{\text{а}}^{\text{вых}} C_{\text{а}}^{\text{вых}}}{V_{\text{а}}^{\text{вх}} C_{\text{а}}^{\text{вх}}}, \quad (15)$$

где $V_{\text{г}}^{\text{вх}}$, $V_{\text{г}}^{\text{вых}}$ – количество газа, поступающее в газоочистной аппарат и выходящее из него.

Определение скорости и расхода газа

Определение скорости и расхода газоздушных протоков, отходящих от стационарных источников загрязнения, производится в соответствии с ГОСТ 17.2.4.06-90.

Перемещение воздуха по воздуховодам происходит за счет затрат энергии (давления). Различают три вида давления: статическое, динамическое и полное.

Статическое давление $P_{ст}$ представляет собой разность давлений в воздуховоде и в окружающей атмосфере, т.е. давление, которое испытывают стенки воздуховода. Динамическое давление $P_{д}$ представляет собой кинетическую энергию объема текущего по воздуховоду газа, которая требуется для ускорения движения от состояния покоя до скорости потока, т.е.

$$P_{д} = \rho v^2 / 2 ,$$

где ρ – плотность газа, кг/м³;

v – скорость воздушного потока.

Сумма статического и динамического давлений носит название полного давления

$$P_{полн} = P_{ст} + P_{д}. \quad (16)$$

Таким образом, скорость газового потока можно определить по уравнению

$$v = \sqrt{2P_{д} / \rho} . \quad (17)$$

ПРИЕМНИКИ ДАВЛЕНИЯ И РЕГИСТРИРУЮЩИЕ ПРИБОРЫ

При измерениях давления в воздуховодах в качестве приемников давления наиболее широкое распространение получили комбинированные пневмометрические трубки различных конструкций.

Пневмометрическая трубка конструкции МИОТа

Это средство измерения состоит из двух спаянных между собой металлических трубок: трубки статического давления и трубки полного давления (рисунок 48).

Трубка статического давления в приёмной части на длине h имеет клиновидную форму и 4 калиброванных отверстия для приема статического давления, а трубка полного давления в приемной части имеет форму сферы

с отверстием для приема полного давления. В таблице 23 приведены основные размеры пневмометрических трубок конструкции МИОТа.

Таблица 23 – Основные размеры пневмометрических трубок конструкции МИОТа

Диаметр воздуховода	L	D	d	d_1	H	h	k	e	o
До 300	300	3	1	0,5	60	20	24	3	3.5
500	500	6	1,5	0,6	120	40	48	6	7
1000	1000	6	1,5	0,6	120	40	48	6	7
1500	1500	8	2	0,8	160	53	64	8	9.5

Рисунок 48 – пневмометрическая трубка конструкции МИОТа

Пневмометрическая трубка конструкции Пито-Прандтля

Средство и вставленных одн для подклю сферической или соединяется с Внешняя труби расположенных (рисунок 49).

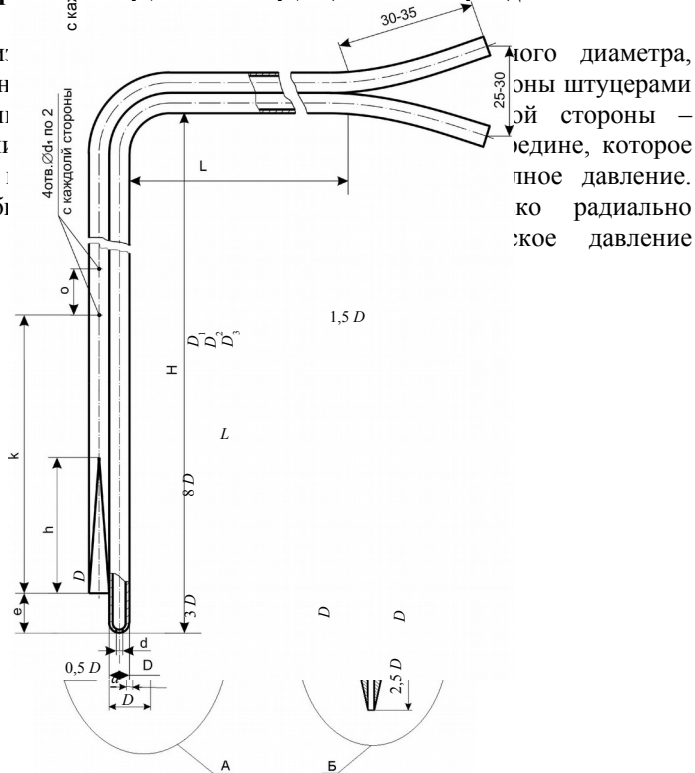


Рисунок 49 – Пневмометрическая трубка конструкции Пито-Прандтля

В таблице 24 приведены основные размеры трубок Пито-Прандтля.

Таблица 24 – Основные размеры трубок Пито-Прандтля

Диаметр воздуховода	L	d	D	D_1	D_2	D_3
До 300	300	1	6	5	3	2
500	500	1.5	8	7	4	3
1000	1000	1.5	10	8	6	4
1500	1500	2	12	10	6	4

Пневмометрическая трубка конструкции НИИОГАЗа

Это средство измерения служит для измерения перепада давлений P_d в сильно запыленных потоках. Широкое распространение получили пневмометрические трубки НИИОГАЗа, представленные на рисунке 50, а их наиболее употребительные размеры приведены в таблице 25. Трубка полного давления имеет отогнутый конец, направляемый навстречу потоку газа. Трубка статического давления припаивается перед трубкой полного давления и в своём начале имеет ступенчатый вырез для восприятия статического давления. При такой конструкции пневмометрической трубки статическое давление воспринимается с некоторым искажением, что влечет за собой и искажение динамического давления. Поэтому величины динамических давлений, полученных при измерении такой трубкой, необходимо умножать на поправочный коэффициент K , представляющий собой отношение истинного значения P_d к измеренной его величине P_x :

$$P_d = P_x K.$$

Для каждой пневмометрической трубки этот коэффициент определяется на тарировочных стендах в поверительных лабораториях. Для данной конструкции трубок он находится в пределах 0,55–0,65.

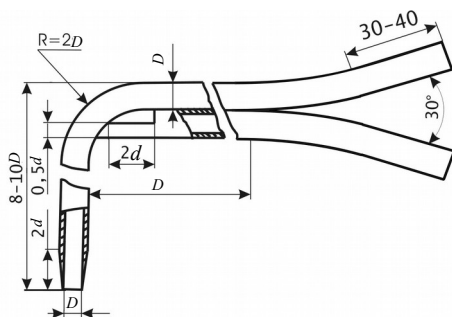


Рисунок 50 – Пневмометрическая трубка конструкции НИИОГАЗа

Диаметр воздуховода	L	D	d
До 300	300	3	2
500	500	5	3
1000	1000	6	4
1500	1500	8	5

Таблица 25 – Наиболее употребительные размеры пневмометрических трубок НИИОГАЗа

Пневмометрическая трубка конструкции ГИНЦВЕТМЕТа

Пневмометрическая трубка конструкции ГИНЦВЕТМЕТа состоит из цилиндрического насадка с двумя отверстиями по поперечной оси, расположенными в лобовой и тыльной сторонах (по отношению к направлению потока), которые предназначены для приема полного и статического давлений. Эскиз пневмометрической трубки приведен на рисунке 51.

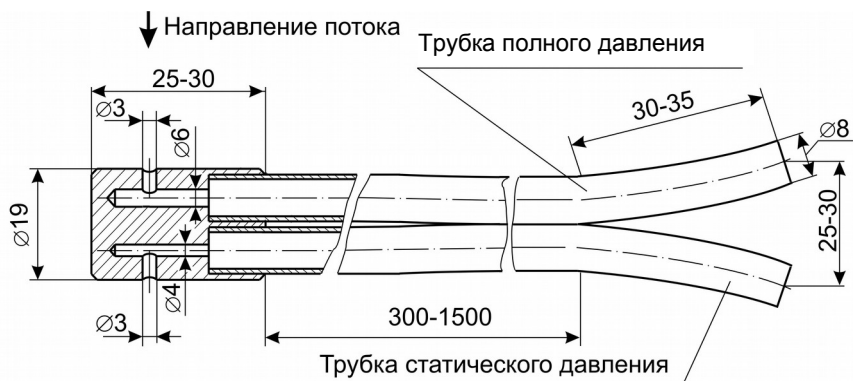


Рисунок 51 – Пневмометрическая трубка конструкции ГИНЦВЕТМЕТа

Цилиндрический насадок заканчивается двумя спаянными по длине металлическими трубками. Статическое давление данной трубкой, как и трубкой конструкции НИИОГАЗа, воспринимается с некоторым искажением, что требует введения тарировочного (поправочного) коэффициента K . Достоинством пневмометрической трубки данной конструкции является стабильность показаний при отклонении оси отверстий от оси потока до 20 градусов, кроме того, она малочувствительна к забиванию пылью. Поправочный коэффициент для трубок ГИНЦВЕТМЕТа находится в пределах 0,5–0,7.

Пневмометрические трубки конструкции Пито-Прандтля и конструкции МИОТа имеют поправочные коэффициенты, близкие к единице при отклонении оси трубки от оси потока на угол менее 15 градусов, а погрешность измерения не превышает 2 %, что позволяет производить измерения без тарировки трубки. Основным их недостатком является быстрая засоряемость при запыленности газов свыше 10 мг/м³.

Микроанометр типа ММН

Простейшим регистрирующим прибором для измерения давлений является микроанометр типа ММН-240 (рисунок 52).

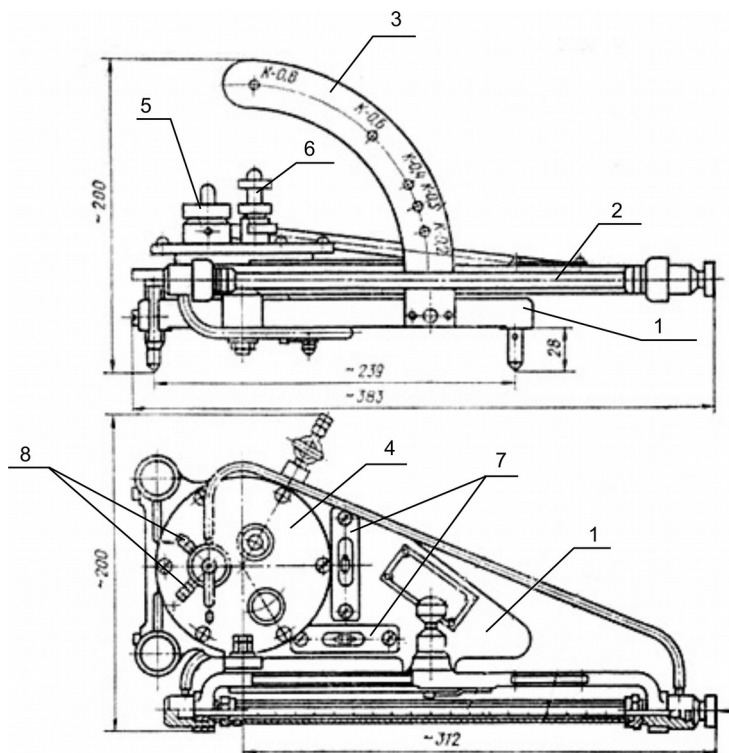


Рисунок 52 – Микроманометр типа ММН:

- 1 – плита; 2 – измерительная трубка; 3 – дуга; 4 – резервуар; 5 – трехходовой кран;
6 – регулятор уровня; 7 – уровни; 8 – штуцеры

Микроманометр состоит из силуминовой плиты 1, на которой установлен резервуар 4. На резервуаре установлен трехходовой кран 5 для переключения режимов работы прибора. Кран имеет два штуцера 8 для подключения пневмометрической трубки. Резервуар имеет регулятор уровня 6, необходимый для установки уровня жидкости в измерительной трубке на нулевую отметку. К плите шарнирно прикреплен кронштейн с измерительной трубкой 2. Нулевая точка шкалы измерительной трубки совпадает с осью вращения кронштейна. Для установки кронштейна с измерительной трубкой на требуемый угол к плите прикреплена дуга, которая имеет пять отверстий с цифрами 0,8; 0,6; 0,4; 0,3; 0,2, обозначающими $\sin \alpha$ угла наклона измерительной трубки. Для контроля установки прибора в горизонтальное положение на плите установлены два уровня 7. Измерительная трубка соединяется с резервуаром и трехходовым краном резиновыми трубками. В качестве рабочей жидкости в

микроманометре применяется этиловый спирт. Погрешность показаний микроманометра обычно не превышает $\pm 0,5-1\%$.

Давление, измеряемое микроманометром, определяется по формуле

$$P = 9,8067H_{\text{отсч}} \cdot c \sin \alpha \rho_{\text{ж}},$$

где P – истинное давление, Па;

$\sin \alpha$ – синус угла наклона измерительной трубки;

$\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости (спирта), используемой в микроманометре;

c – тарировочный коэффициент прибора.

Дифференциальный манометр типа ДМЦ

На современном этапе развития техники жидкостные приборы уступили место электронным. Одним из представителей таких приборов является цифровой дифференциальный манометр типа ДМЦ-01М (рисунок 53).

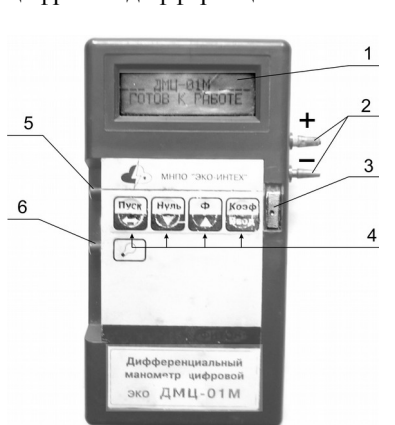


Рисунок 53 – Дифференциальный манометр цифровой типа ДМЦ-01М:

1 – дисплей; 2 – штуцера для подвода перепада давлений; 3 – выключатель питания прибора; 4 – кнопки управления;

5 – кнопка оперативного пуска;

6 – кнопка включения подсветки дисплея

расхода газа с коррекцией на температуру потока, расчет средних скорости и расхода газа по измеренным точкам.

Вся информация о работе прибора отображается на большом дисплее, снабженном подсветкой. После каждого измерения на индикаторе одновременно появляются: значение динамического напора, мм вод. ст. (или Па); локальная скорость в данной точке измерения, м/с; средняя

ДМЦ-01М – это профессиональный прибор для измерения давления, разрежения и разности давлений газов, а также для определения скорости и расхода газопылевых и воздушных потоков с помощью напорных трубок НИИОГАЗа, ГИНЦВЕТМЕТа или ПИТО (по ГОСТ 17.2.4.06-90 и ГОСТ 8.361-79). Применяется при технологическом и экологическом контроле выбросов различных производств, контроле вентиляции производственных помещений, аэродинамических исследованиях. Встроенный микропроцессор обеспечивает автоматическую установку нуля, измерение и накопление данных по сечению газотока (профиль скоростей в $N < 99$ точках), расчет локальных скоростей и расхода газа с коррекцией на температуру потока, расчет средних скорости и расхода газа по измеренным точкам.

скорость, м/с, за N измерений; среднее значение расхода газа, $\text{нм}^3/\text{ч}$.
 Технические характеристики прибора приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Технические характеристики ДМЦ-01М

Диапазон измерения перепада давления, мм вод. ст. (кПа)	0–200 (0–2,0)
Основная приведенная погрешность в диапазоне, %	1
Предельно-допустимое рабочее избыточное давление, одновременно подаваемое к обоим входам, мм вод.ст. (кПа)	2000 (20)
Питание: аккумуляторная батарея 7Д-0,125Д напряжением, В	$9 \pm 0,5$
Температура окружающей среды, °С	0–40
Допускается кратковременно	-5
Масса прибора (в комплекте), кг, не более,	0,7
Габаритные размеры, мм	170x110x35

Подсоединение пневмометрических трубок к измерительным приборам типа ММН и ДМЦ производится резиновыми шлангами необходимой длины таким образом, чтобы к штуцеру, обозначенному знаком плюс, подводилось большее давление. Схема подключения пневмометрических трубок к приборам приведена на рисунке 54. Неправильное подключение пневмометрических трубок к измерительным приборам влечет за собой неверные результаты измерений, а в некоторых случаях приводит к их поломке.

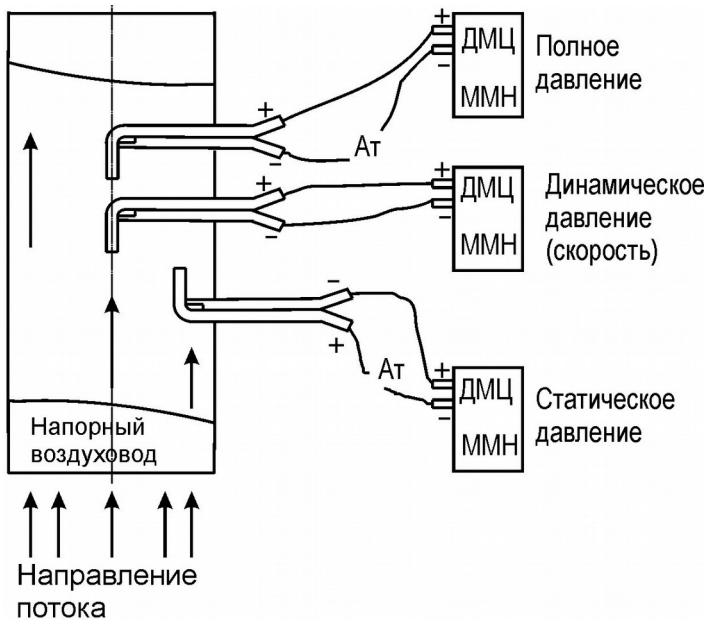


Рисунок 54 (начало) – Схема подключения пневмометрических трубок

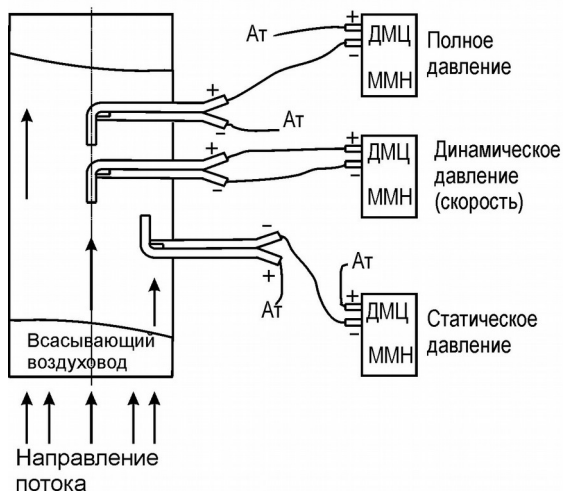


Рисунок 54 (окончание)

Многофункциональные приборы фирмы Testo

Кроме названных приборов в практике нашли широкое применение многофункциональные приборы фирмы Testo (Германия).

Прибор модели Testo-425 предназначен для измерения одновременно двух параметров: температуры газовоздушного потока и его скорости, что достигается применением комбинированного зонда, состоящего из термоанемометрического датчика и датчика температуры. Диапазон измерения скорости 0–20 м/с, температуры –20...+50 °С. Термоанемометр Testo-425 предназначен для измерения скорости и температуры внутри помещений при контроле параметров микроклимата или при наладке систем вентиляции и кондиционирования.

Прибор Testo-435 (рисунок 55) является прибором с широким спектром применения благодаря возможности подключения сменных зондов: термоанемометрических, крыльчатых, температурных и т.д.

При применении комбинированного зонда прибор позволяет измерять скорость газовоздушного потока в пределах 0–20 м/с и его температуру от минус 20 до плюс 70 °С. Зондом-крыльчаткой диаметром 16 мм измеряют скорость потока от 0,6 до 40 м/с, диаметром 60 мм – от 0,25 до 20 м/с при температуре газов минус 50 до плюс 150 °С. Измерительно-индикаторный блок может эксплуатироваться при температуре окружающей среды от 0 до +50 °С без применения утеплительного футляра. При подключении к прибору температурных зондов он позволяет измерять температуру воздушного потока, поверхностную температуру и температуру жидких и сыпучих материалов.

Универсальный двухканальный многофункциональный прибор модели Testo-400 в максимальной комплектации зондами



Рисунок 55 – Прибор модели Testo-435 с зондом-крыльчаткой



Рисунок 56 – Универсальный измерительный прибор Testo-400 с зондом-крыльчаткой, зондом влажности и температуры и принтером

позволяет измерять скорость, температуру, давление, влажность воздушного потока и концентрацию CO и CO₂ в нем. Кроме того он позволяет измерять частоту вращения бесконтактным методом, а также величину тока и напряжения. Прибор Testo-400 имеет возможность подключения 3-функционального зонда для одновременного измерения температуры влажности и скорости воздушного потока. Так как прибор обладает функцией измерения влажности, то помимо относительной влажности он позволяет определять температуру точки росы, абсолютную влажность, энтальпию и парциальное давление водяного пара. Прибор имеет встроенную память, выход на компьютер и принтер. На рисунке 56 приведен внешний вид прибора Testo-400.

Все приборы фирмы Testo имеют функции удержания текущих показаний на дисплее и усреднения их значений по времени и числу измерений. Измеренные значения выводятся на большой дисплей и распечатываются на инфракрасном портативном принтере.

ДОКУМЕНТЫ И МАРКИРОВКА ГАЗОЧИСТНЫХ УСТАНОВОК, НАХОДЯЩИХСЯ В ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ПРЕДПРИЯТИИ

Аппарат очистки газа является составной частью газоочистной установки (ГОУ), в которой осуществляется процесс улавливания из потока газа загрязняющих веществ.

Аппараты сухой механической очистки газа от пыли, твердых частиц, принцип работы которых основан на осаждении частиц за счет силы тяжести, центробежной силы, изменения скорости потока газа, относятся к группе С. Аппараты и устройства фильтрующего типа относятся к группе Ф.

При вводе в эксплуатацию и наладочных работах вновь сооруженных или реконструируемых ГОУ необходимо провести проверку на соответствие фактических параметров работы ее проектным значениям.

Контроль инструментальными методами фактических параметров ГОУ проводится аккредитованной в системе аккредитации Республики Беларусь лабораторией с использованием метрологически аттестованных и официально допущенных к использованию методик выполнения измерений, при помощи средств измерения, внесенных в Госреестр Республики Беларусь.

По данным инструментальных испытаний заполняется ведомость дефектов, даются характеристики оборудования ГОУ и местных отсосов. Приводятся: протокол аэродинамических испытаний ГОУ, протокол результатов определения концентраций вредных веществ в выбросах в атмосферу. На основании полученных результатов испытаний даются рекомендации по эксплуатации ГОУ.

ГОУ должны быть укомплектованы эксплуатационными документами (паспорта завода-изготовителя, аппаратов очистки газа, оборудования, узлов и приборов, входящих в состав ГОУ и др.). Эксплуатационные документы хранятся у должностного лица, ответственного за эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт ГОУ структурного подразделения, эксплуатирующего ГОУ.

Владельцы ГОУ обязаны:

– зарегистрировать в территориальных органах Минприроды паспорта ГОУ;

– разработать и утвердить инструкцию по эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту ГОУ;

– определить приказом (распоряжением) должностных лиц, ответственных за эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт ГОУ в каждом структурном подразделении, эксплуатирующем ГОУ, и должностное лицо, ответственное за ведение учетной документации по эксплуатации и техническому обслуживанию ГОУ, ознакомить указанных должностных лиц с этим приказом (распоряжением);

– проводить обучение, инструктаж, повышение квалификации и проверку знаний должностных лиц, ответственных за эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт ГОУ;

– определить приказом (распоряжением) комиссию по оценке технического состояния ГОУ (далее – комиссия);

– поддерживать ГОУ в исправном состоянии, осуществлять постоянный контроль технического состояния и работы ГОУ;

– своевременно проводить техническое обслуживание, текущий, планово-предупредительный и капитальный ремонты;

– содержать системы непрерывного контроля выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (при наличии) и устройства для отбора проб в исправном состоянии;

– обеспечить ведение учетной документации по эксплуатации и техническому обслуживанию ГОУ;

– своевременно выполнять и информировать о выполнении предписаний, выданных территориальными органами Минприроды.

Регистрация ГОУ осуществляется Минприроды и его территориальными органами (далее – орган регистрации) в соответствии с компетенцией.

При регистрации обязательно наличие паспорта ГОУ (согласно установленной форме).

В состав паспорта ГОУ входят:

– чертеж общего вида аппарата очистки газа с указанием основных размеров;

- обнаруженные неисправности, случаи отклонения в работе отдельных частей или аппаратов или выход из строя всей установки (таблица А.1);
- схема ГОУ (образец приведен в приложении Б);
- основные данные оборудования, входящего в состав ГОУ;
- рекомендации по режиму работы ГОУ, обеспечивающему соблюдение требований по выбросам загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- основные показатели, характеризующие режим работы установки (отклонения от оптимального режима);
- данные о результатах технических осмотров;
- сведения о ремонтах, замене узлов, деталей, частей ГОУ;
- данные о дате и результатах контроля параметров работы ГОУ.

Паспорт ГОУ должен быть составлен организацией экологического нормирования, получившей официальное признание профессиональной компетентности, т.е. организацией, имеющей право на выполнение работ на территории Республики Беларусь в сфере обеспечения экологической безопасности.

Показатели работы ГОУ должны подвергаться контролю инструментальными методами ежегодно, за исключением ГОУ, установленных внутри помещений и не имеющих выход в атмосферный воздух (промышленные пылесосы и иные фильтры). В случае, если ГОУ эксплуатируется менее 500 часов в год, контроль проводится не реже одного раза в два года.

В период работы ГОУ с аппаратами сухой механической очистки от пыли работники, осуществляющие эксплуатацию ГОУ, должны:

- следить за герметичностью пылеуловителя и коммуникаций, не допускать утечек газа при работе под давлением или подсосов газа при разрежении, не соответствующих нормам, установленным в Инструкции по эксплуатации;
- своевременно удалять из бункеров уловленную пыль и обеспечивать ее транспортировку в установленные места;
- не допускать слеживания и цементации пыли в бункерах, аппаратах, воздуховодах;
- обеспечивать оптимальный режим работы пылеуловителей при наличии регулирующих устройств;
- следить за целостностью теплоизоляции и антикоррозионных покрытий.

В процессе эксплуатации ГОУ эффективное применение его возможно при правильном техническом обслуживании и проведении своевременных ремонтов.

Документация по эксплуатации и техническому обслуживанию ГОУ включает следующие документы:

- акт приемки оборудования ГОУ в эксплуатацию;
- приказ (распоряжение) руководителя владельца ГОУ о назначении должностных лиц, ответственных за эксплуатацию, техническое

обслуживание и ремонт ГОУ;

- инструкцию по эксплуатации и техническому обслуживанию ГОУ;
- результаты испытаний показателей работы ГОУ на соответствие ее проектным показателям;

- паспорт ГОУ;

- планы ремонтов ГОУ, утвержденные владельцем ГОУ;

- журнал учета времени и режима работы стационарных источников выбросов и газоочистных установок по форме ПОД-3 согласно постановлению Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 8 ноября 2005 г. № 59;

- эксплуатационные документы завода-изготовителя;

- свидетельство о проверке контрольно-измерительных приборов, установленных на оборудовании ГОУ, при их наличии;

- данные мониторинга приборами непрерывного контроля, при их наличии в составе ГОУ;

- планы проведения технической учебы лиц, ответственных за эксплуатацию, техническое обслуживание и ремонт ГОУ, и работников, осуществляющих эксплуатацию ГОУ.

При наличии в составе ГОУ системы непрерывного контроля данные хранятся в составе эксплуатационной документации на бумажном или магнитном носителе, в зависимости от метода фиксирования данных мониторинга с использованием самописца или программных средств, в течение двух лет.

Каждой ГОУ присваивается регистрационный номер, который состоит из букв, обозначающих группу аппаратов очистки газа, и пятизначного числа. Цифры обозначают порядковый номер регистрируемой ГОУ, количество букв соответствует числу ступеней очистки и группе аппаратов очистки газа, используемых на каждой ступени.

Регистрационный номер наносится владельцем ГОУ на корпус аппаратов очистки газа с размером надписи 200x150 мм. Допускается нанесение регистрационного номера на табличке. При наличии у ГОУ нескольких ступеней очистки (групп аппаратов очистки газа) на каждой их них дополнительно указывается номер соответствующей ступени очистки. Образец надписи приведен в приложении В.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

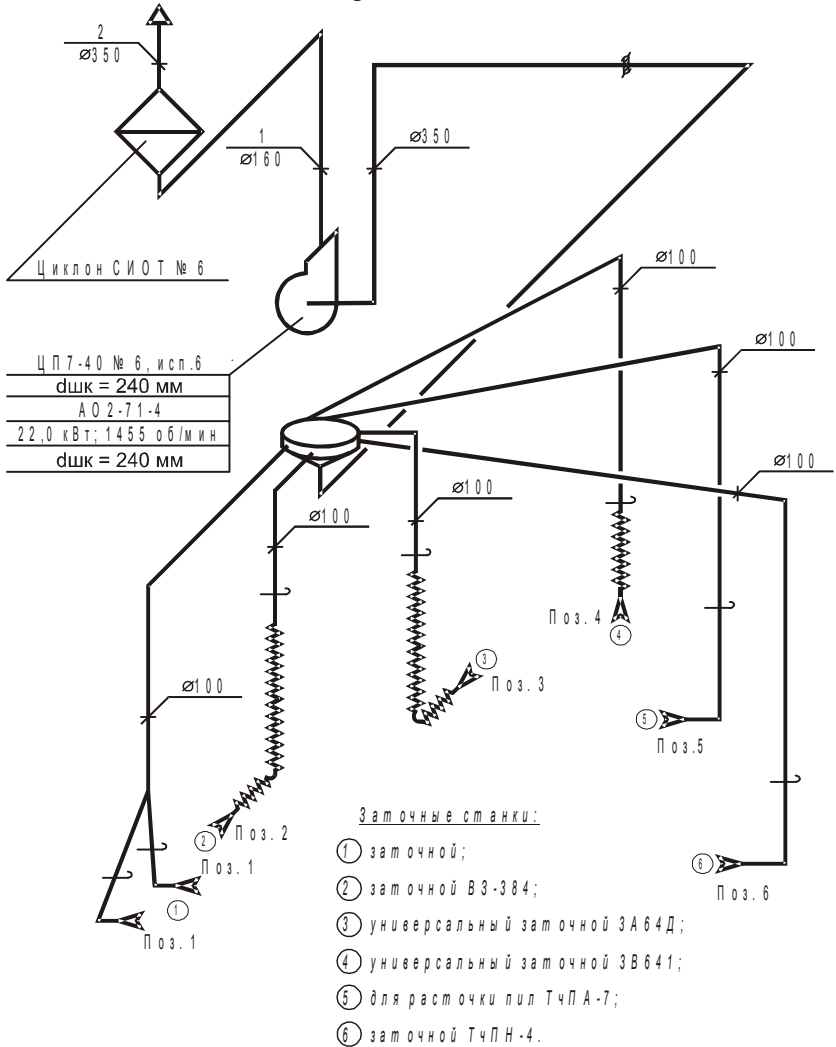
Показатели работы ГОУ

Таблица А.1

№ п/п	Наименование регламентируемого показателя*		Единица измерения	Регламентируемые показатели работы ГОУ				
				проектные	допустимые отклонения	результаты испытаний		
1	2		3	4	5	6	7	8
1	Объем очищаемых газов	на входе в ГОУ	тыс. м ³ /ч					
		на выходе	тыс. м ³ /ч					
2	Температура газа	на входе в ГОУ	°С					
		на выходе	°С					
3	Давление (разрежение) газа	на входе в ГОУ	кПа					
		на выходе	кПа					
4	Гидравлическое сопротивление, разрежение		кПа					
5	Скорость входа воздуха в аппарат		м/с					
6	Концентрация загрязняющих веществ в газе	на входе в ГОУ С _{вх}	мг/м ³					
		на выходе ГОУ С _{вых}	мг/м ³					
7								
8								
9								
10								
11	Степень очистки газа $100 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} \cdot 100$		%					
12	Дата проведения испытаний							
13	Наименование организации, проводившей испытания							
14	Вывод о соответствии, подпись							

^{*)} Пункты этой графы заполняются в зависимости от типа ГОУ, в строках 7–10 указываются параметры, характерные для данного типа ГОУ (расход и давление газа регенерации для рукавных фильтров, расход воды для мокрых пылеуловителей, напряжение и сила тока для электрофильтров и др.).

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(рекомендуемое)
Образец схемы



ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Образец маркировки ГОУ (нанесение регистрационного номера)

1-я ступень очистки – на корпус электрофилтра:

А-2/ ист.7
Рег.№ Э 0005

2-я ступень очистки – на аппарат сухой очистки, за которым смонтирован промышленный фильтр:

А-79/ ист. 138
Рег.№ СФ 8795-1

3-я ступень очистки – на аппарат сухой очистки, являющийся второй ступенью очистки, за которым смонтирован аппарат мокрой очистки:

А-1/ист.11
Рег.№ ССМ 1022-2

Учебное издание

ОВЧИННИКОВ Вячеслав Михайлович

ЗЯБКИН Николай Павлович

ШАТИЛО Сергей Николаевич

Экологическая безопасность предприятия

Часть I

Сухая механическая очистка газа

Учебно-методическое пособие

для студентов транспортных и строительных специальностей
и слушателей Института повышения квалификации

Редактор **Н. А. Дашкевич**

Технический редактор **В. Н. Кучерова**

Подписано в печать 03.03.2009 г. Формат 60×84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.

Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 4,13. Тираж 200 экз.

Зак. № . Изд. № 20.

Издатель и полиграфическое исполнение
Белорусский государственный университет транспорта:

ЛИ № 02330/0133394 от 19.07.2004 г.

ЛП № 02330/0148780 от 30.04.2004 г.

246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34