Перечень лабораторных работ по курсу
«Очистка вентвыбросов и ресурсосбережение»

1. Определение эффективности улавливания пыли в циклоне (4 часа)

2. Определение эффективности улавливания пыли в инжекционно-пенном аппарате (2 часа)

3. Определение эффективности улавливания пыли в фильтре с использованием различных фильтрующих материалов (4 часа)

4. Определение эффективности улавливания пыли при последовательной очистке вентвыбросов в циклоне и инжекционно-пенном аппарате (2 часа)

5. Определение эффективности улавливания пыли при последовательной очистке вентвыбросов в циклоне и фильтре (2 часа)

6. Определение эффективности улавливания пыли при последовательной очистке вентвыбросов в циклоне, фильтре и инжекционно-пенном аппарате (4 часа)

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В ЦИКЛОНЕ

Принцип действия циклона

Циклон является одним из наиболее распространенных пылеулавливающих аппаратов. Он эффективен в том случае, когда размер частиц пыли свыше 20 мкм.

Принцип действия циклонов основан на использовании центробежных сил, возникающих при вращении газового потока внутри корпуса циклона. Это вращение достигается тангенциальным подводом газа в циклон. Под действием центробежных сил частицы пыли, взвешенные в потоке газа, отбрасываются на стенки корпуса, прижимаются к ней и выпадают из потока. Газ, освобожденный от пыли, продолжая вращаться, совершает поворот на 180° и выходит из циклона через расположенную по оси выхлопную трубу.

Частицы пыли, достигшие стенок корпуса, под действием перемещающегося в осевом направлении вращающегося потока и сил тяжести движутся по направлению к выходному отверстию корпуса и выводятся из циклона.

При движении во вращающемся криволинейном потоке газа частицы пыли находятся под действием силы тяжести, центробежной силы и силы сопротивления. Так как масса частицы очень мала, то скорость ее в циклоне можно считать равной скорости газового потока.

Тогда значение центробежной силы, действующей на частицу пыли массой $\boldsymbol{M}$ можно определить по следующей формуле:

$$\boldsymbol{P_ц} = \frac{\boldsymbol{M} \times \boldsymbol{W_г^2}}{\boldsymbol{R}} = \frac{p \times \boldsymbol{d_п^3}}{\boldsymbol{6}} \times r_п \times \frac{\boldsymbol{W_г^2}}{\boldsymbol{R}} \qquad (1.1)$$

где $\boldsymbol{R}$ – радиус кривизны траектории в рассматриваемой точке.

Под влиянием центробежной силы частица пыли приобретает скорость в радиальном направлении, встречая при своем движении сопротивление газового потока. И тогда, если рассматривать движение частицы в радиальном направлении для момента, когда сила сопротивления уравновесит центробежную силу, то применяя закон Стокса можно записать:

$$\frac{p \times \boldsymbol{d_п^3}}{\boldsymbol{6}} \times r_п \times \frac{\boldsymbol{W_г^2}}{\boldsymbol{R}} = \boldsymbol{3} \times p \times \boldsymbol{d} \times m \times \boldsymbol{W_{пр}}$$

Следовательно, предельная скорость $\boldsymbol{W_{пр}}$, которой может достигнуть частица пыли в радиальном направлении будет равна:

$$\boldsymbol{W_{пр}} = \frac{\boldsymbol{W_г^2} \times \boldsymbol{d_п^2}}{\boldsymbol{18} \times m \times \boldsymbol{R}} \times r_п$$

В связи с непрерывным движением частицы в радиальном направлении величина R, а следовательно и $W_{пр}$ непрерывно меняются и могут быть выражены производной dR/dt.

Следовательно:

$$\frac{dR}{dt} = \frac{W_г^2 \times d_п^2}{18 \times m \times R} \times r_п$$

После разделения переменных и интегрирования в пределах от R_1 до R_2 и от 0 до t получили:

$$R_2^2 - R_1^2 = \frac{d^2 \times r_п \times W_г^2}{r \times m} \times t$$

Откуда время прохождения частицею пути $R_2 - R_1$ равно:

$$t = \frac{r \times m}{(R_2^2 - R_1^2) \times d^2 \times r_п \times W_г^2}$$

Диаметр частицы пыли, успевающей за время t пройти путь $R_2 - R_1$ будет равен:

$$d = W_г \times \sqrt{\frac{(R_2^2 - R_1^2) \times m}{r_п \times t}}$$

Анализируя последнюю формулу, можно сделать следующие выводы:

- с увеличением $W_г$ увеличивается и эффективность работы циклона;
- эффективность работы циклона также увеличивается с увеличением диаметра частиц и их плотности и уменьшается с увеличением размеров циклона и вязкости газа.

Оценка эффективности работы циклона

Работа циклона характеризуется коэффициентом очистки, под которым понимают отношение количества уловленной пыли ΔM к количеству пыли, поступающей в циклон M_1:

$$h = \frac{DM}{M_1} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} = 1 - \frac{M_2}{M_1}$$

где M_2 - масса пыли выходящей из циклона.

Величина, дополняющая коэффициент очистки циклона до единицы, называется коэффициентом проскока $k_{пр}$:

$$k_{пр} = 1 - h = \frac{M_2}{M_1}$$

Известно, что эффективность очистки для частиц пыли различных размеров неодинакова. Лучше улавливается крупная пыль. Кроме того, коэффициент очистки в значительной степени зависит от свойств пыли и параметров газового потока.

Отбор пыли из газового потока

Расход воздуха, отсасываемого для отбора пылевых проб, измеряется при применении пылезаборных устройств на расходы не свыше 5 $м^3$/ч ротаметрами или реометрами, а при применении пылезаборных устройств на расходы свыше 5 $м^3$/ч – оттарированными измерительными шайбами, соединенными с микроманометрами.

Количество отобранной пыли должно быть не меньше навески, необходимой для анализа ее дисперсного состава. Применяемое пылезадерживающее устройство должно не только обеспечивать определение веса отобранной пробы, но и давать возможность полностью извлекать уловленную пыль. Выбор места отбора пробы в воздуховоде является весьма важным условием для получения представительной навески пыли. Пробоотборные устройства, как правило, следует располагать на прямом вертикальном участке воздуховода, где пылегазовый поток не подвержен местным возмущениям.

Наконечники пылеотборных трубок должны быть такими, чтобы по возможности, не возмущать поток в сечении воздуховода. Диаметр отверстия наконечников определяют исходя из расхода отсасываемого воздуха при отборе пылевых проб и условия равенства скорости в отверстиях наконечников и скорости основного газового потока.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А) предварительная работа

1. произвести разделение пыли на фракции при помощи вибросита (рис. 1)
2. заправить дозатор испытуемой пылью определенной фракции
3. включить в сеть электронные весы.
4. взвесить на электронных весах и заправить в аллонжи фильтры.
5. установить пылезаборные трубки в лючки Л-1 на входе и Л-2 на выходе из циклона. Наконечники пылезаборных трубок должны быть направлены навстречу движению потока.
6. подключить пылезаборные трубки вместе с аллонжами к электрическому аспиратору.
7. подключить к электрической сети аспиратор.
8. произвести подключение микроманометров к пневматическим трубкам, расположенным на воздуховодах до и после циклона. Буквы С и П на воздуховодах до и после аппарата обозначают точки подключения микроманометров для определения статического и полного давлений соответственно.

Б) проведение испытания циклона

1. открыть шиберы (поз. 1,3,14) и закрыть (поз. 2, 13, 6, 11) согласно рис.1.
2. включить вентиляционную установку.
3. произвести замеры полного, статического и динамического давлений на входе и выходе из циклона при помощи микроманометров. Произвести, в случае необходимости, регулировку шибера Ш-2, так, чтобы значение $h_{изм}$ по микроманометру было приблизительно равно 10-15 мм вод.ст., т.е. чтобы средняя скорость в сечении входного патрубка была 10-16 м/с.
4. включить дозатор пыли, одновременно включив секундомер.
5. по окончании подачи пыли произвести отключение секундомера, вентустановки, дозатора пыли и электрического аспиратора.
6. извлечь из патронов запыленные бумажные фильтры и сложить их так, чтобы из них не могла высыпаться пыль.

В) проведение расчетов

1. произвести взвешивание фильтров на электронных весах.
2. произвести вычисление привеса пыли на фильтрах до и после аппарата.
3. по динамическому давлению произвести расчет средней скорости воздуха, м/с, в сечении воздуховода по формуле:

$$u_{ср} = \sqrt{\frac{2 \times P_д}{r}} \qquad (1.1)$$

где $P_д$ - динамическое давление воздуха в сечении воздуховода, Па;

$$P_д = h_{изм} \times k_1 \times k_2 \qquad (1.2)$$

k_1 - коэффициент, учитывающий угол наклона шкалы микроманометра;

k_2 - переводной коэффициент $k_2 = 10$;

r - плотность воздуха, кг/м^3;

4. определить действительный расход воздуха, м^3/с, в воздуховоде по формуле:

$$L_д = u_{ср} \times F \qquad (1.3)$$

где F - площадь сечения воздуховода, м^2 (Ø 125 мм);

5. определить расход воздуха через фильтры, м^3/с (скорость воздуха в канале пылезаборной трубки должна соответствовать $u_{ср}$ в сечении воздуховода):

$$V_{а.э.} = u_{ср} \times f_{п/з.тр.} \qquad (1.4)$$

где $f_{п/з.тр.}$- площадь канала пылезаборной трубки, м^2 (Ø 2,8 мм);

6. привести действительный расход воздуха в сечении воздуховода к нормальным условиям, м^3/с:

$$L_o = L_д \times \frac{273 \times (P_б \pm P_в)}{(273 + t_в) \times 101,3} \qquad (1.5)$$

$L_д$ - действительный расход воздуха в сечении воздуховода во время испытаний, $м^3/с$;

$P_б$ - барометрическое давление, кПа;

$P_в$ - избыточное давление (разряжение) в воздуховоде, кПа;

$t_в$ - температура воздуха в воздуховоде, ^oC

7. произвести расчет коэффициента очистки циклона по формуле:

$$h = 1 - \frac{M_2}{M_1} \qquad (1.6)$$

где M_1 и M_2 - масса пыли до и после циклона соответственно, мг;

8. произвести вычисление пылесодержания, мг/л:

$$C_п = \frac{DM}{V_o \times t} \qquad (1.7)$$

где DM - привес пыли за время опыта, мг;

V_o - объем воздуха, проходящего через электрический аспиратор, л/мин.;

t - время проведения опыта, мин.

Результаты испытаний и расчетов заносим в таблицу 1. Таким образом необходимо провести испытания на трех фракциях пыли и сделать вывод об эффективности очистки циклона по каждой из фракций.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

h_o, мм вод.ст	$h_{изм}$ - h_o, мм вод.ст	Угол наклона шкалы микроманометра, k	Динамическое давление Рд, Па	Плотность воздуха ρ, кг/м^3	Средняя скорость в сечении воздуховода $\upsilon_{ср}$, м/с	Площадь сечения воздуховода $F_{сеч}$, м^2	Действительный расход воздуха, $L_д$, м^3/с	Расход воздуха при нормальных условиях L_o, м^3/с	Площадь пылезаборной трубки, $f_{п/з.\ тр.}$, м^2	Расход воздуха пылезаборной трубки, $L_{п/з.\ тр.}$, м^3/с	Расход воздуха в электроаспираторе, $V_{э.а.}$, м^3/с	Масса уловленной пыли, мг		Время проведения опыта τ, с	Коэффициент очистки циклона, $\eta_ц$, %
												До циклона	После циклона		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ПЫЛИ В ИНЖЕКЦИОННО-ПЕННОМ АППАРАТЕ

Конструкция инжекционно-пенного аппарата

Инжекционно-пенный аппарат (ИПА) относится к пылеуловителям мокрого типа. Принцип действия ИПА основан на интенсивном закручивании выбросных газов при помощи направляющих лопаток вблизи зеркала жидкости. Рабочая жидкость, за счет подсасывания ее в газовый поток, подвергается дроблению и образованию пены. Загрязненный воздушный поток, встречая на своем пути диспергированную жидкость, контактирует с ней. Во время контакта частиц пыли с частицами рабочей жидкости происходит захват пыли частицами жидкости и вывод ее из газового потока в виде шлама. Очищенный от пыли воздух выбрасывается в атмосферу.

На рисунке 2 представлен ИПА, разработанный на кафедре «Теплогазоснабжение и вентиляция» УО ПГУ под руководством д.т.н., профессора С.И. Луговского.

Аппарат состоит из корпуса 1, тангенциального патрубка 3 для ввода загрязненного воздуха, вертикальной контактно-выхлопной трубы 5, нижний конец которой установлен соосно с корпусом аппарата и снабжен лопаточным закручивателем 4. Лопатки закручивателя расположены равномерно по поперечному сечению контактно-выхлопной трубы и разделяют кольцевое пространство между корпусом и контактно-выхлопной трубой на равные части. В верхней части контактно-выхлопной трубы расположены влагоотделитель 2 с тарельчатым сепаратором 8 и патрубок 7 для выхода очищенного воздуха.

Принцип действия инжекционно-пенного аппарата

Принцип действия ИПА заключается в следующем. Загрязненный воздушный поток подводится к корпусу аппарата тангенциально, через входной патрубок 4. Нижняя часть корпуса частично заполнена жидкостью. Воздушный поток, опускаясь по спирали к поверхности жидкости и достигая лопаток закручивателя 3, отклоняется ими от внутренней поверхности корпуса. Поток воздуха, последовательно перетекая через лопатки, смещается к выхлопной трубе и одновременно разделяется лопатками на равновеликие объемы. В результате происходит интенсивное завихрение воздушного потока и вовлечение во вращательное движение жидкости, которая лопатками закручивателя направляется к центру аппарата. В результате происходит образование пенного слоя, в котором осуществляется очистка воздуха. После очистки воздух поступает во влагоотделитель 6, где происходит отделение капельной влаги, и далее выбрасывается в выхлопной патрубок 7.

Экспериментальные исследования показали, что оптимальная скорость в выхлопной трубе должна находиться в интервале 7-8 м/с. Кроме того, должно соблюдаться расстояние от торца выхлопной трубы до поверхности жидкости равным:

$$l = 0{,}15 \div 0{,}20 d_{тр} \qquad (2.1)$$

где l - расстояние от нижнего торца выхлопной трубы до поверхности жидкости, м;

$d_{тр}$ - диаметр выхлопной трубы, м.

ИПА могут осуществлять очистку воздуха как от пыли, так и от газов (оксидов азота, паров растворителя и т.д.). Для этого должны быть подобраны соответствующие поглотители.

Потери давления в аппарате определяются по формуле:

$$DP_{ипа} = x_{ипа} \times \frac{V_o^2}{2} \times r_г \qquad (2.2)$$

где $x_{ипа}$ - коэффициент аэродинамического сопротивления аппарата, принимаемый по экспериментальным данным;

V_o - оптимальная скорость движения воздуха в контактно-выхлопной трубе, (7÷8 м/с);

$r_г$ - плотность очищаемого воздуха, кг/м^3.

Производительность аппарата определяется по следующей формуле:

- объемная $$L_{ипа} = 0,25 \times p \times d_{тр}^2 \times V_o \qquad (2.3)$$

- массовая $$G_{ипа} = 0,25 \times p \times d_{тр}^2 \times V_o \times r_г \qquad (2.4)$$

Эффективность очистки ИПА определяется по формуле 1.6.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А) предварительная работа

Подготовка к выполнению производится аналогично с лабораторной работой № 1.

Пылезаборные трубки устанавливаются в лючки Л-3 и Л-5.

Б) проведение испытания аппарата

1. открыть шиберы (поз.) и закрыть (поз.) согласно рис.1.
2. включить вентиляционную установку.
3. произвести замеры полного, статического и динамического давлений на входе и выходе из аппарата при помощи микроманометров. Произвести, в случае необходимости, регулировку шибера Ш-2, так, чтобы значение $h_{изм}$ по микроманометру было приблизительно равно 5-10 мм вод.ст., т.е. чтобы средняя скорость в сечении входного патрубка была 5-8 м/с.
4. включить дозатор пыли, одновременно включив секундомер.
5. по окончании подачи пыли произвести отключение секундомера, вентустановки, дозатора пыли и электрического аспиратора.

6. извлечь из патронов запыленные бумажные фильтры и сложить их так, чтобы из них не могла высыпаться пыль.

В) проведение расчетов

Порядок проведения расчетов приведен в лабораторной работе № 1. Результаты измерений и вычислений приводятся в таблице № 2.

Таблица 2 – Результаты измерений и вычислений

h_o, мм вод.ст	$h_{изм}$ - h_o, мм вод.ст	Угол наклона шкалы микроманометра, k	Динамическое давление Рд, Па	Плотность воздуха ρ, кг/м^3	Средняя скорость в сечении воздуховода $\upsilon_{ср}$, м/с	Площадь сечения воздуховода $F_{еч}$, м^2	Действительный расход воздуха, $L_д$, м^3/с	Расход воздуха при нормальных условиях L_o, м^3/с	Площадь пылезаборной трубки, $f_{п/з.\ тр.}$, м^2	Расход воздуха пылезаборной трубки, $L_{п/з.\ тр.}$, м^3/с	Расход воздуха в электроаспираторе, $V_{э.а.}$, м^3/с	Масса уловленной пыли, мг		Время проведения опыта τ, с	Коэффициент очистки ИПА, $\eta_ц$, %	Пылесодержание $C_н$, мг/м^3
												До аппарата	После аппарата			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ФИЛЬТРА

Принцип действия фильтров

Работа фильтров всех видов основана на фильтрации запыленного газа через пористую перегородку. В результате частицы пыли задерживаются перегородкой, а газ беспрепятственно проходит через неё.

Фильтры отличаются высокой эффективностью очистки от частиц пыли любых размеров.

В зависимости от вида, структуры и условий работы пористой перегородки, уловленные частицы пыли либо осаждаются на стенках поровых каналов, накапливаясь во всем объеме, либо образуют на лобовой поверхности перегородки пылевой слой, являющийся высокоэффективной фильтрующей средой.

При фильтрации взвешенные в газовом потоке частицы осаждаются за счет броуновской диффузии, эффекта касания (зацепления), инерционных, электростатических и гравитационных сил.

Фильтры условно разделяют на три класса: фильтры тонкой очистки, фильтры для очистки атмосферного воздуха и промышленные тканевые, зернистые, волокнистые и другие фильтры.

Фильтры тонкой очистки предназначены для улавливания субмикробных частиц с высокой эффективностью (более 99%). Начальная концентрация частиц менее 1 мг/м^3. фильтры применяют для улавливания особо токсичных частиц.

Фильтры для очистки атмосферного воздуха (воздушные фильтры) используются в системах приточной вентиляции и кондиционирования воздуха. Они рассчитаны на работу при начальной концентрации пыли менее 50 мг/м^3.

Промышленные тканевые и другие фильтры применяются для очистки промышленных газов с концентрацией дисперсной фазы до 60 мг/м^3.

Тканевые фильтры

В тканевых фильтрах применяют фильтрующие материалы двух типов: обычные ткани, изготавливаемые на ткацких станках, и войлоки (фетры), получаемые путем сволакивания.

В тканевых фильтрах используются небольшие нагрузки по газу, 0,3-1,2 м^3/(м^2·мин). При большей скорости происходит чрезмерное уплотнение пылевого слоя, что приводит к резкому увеличению аэродинамического сопротивления.

В тканевых фильтрах используются хлопчатобумажные, шерстяные, нитронные, лавсановые ткани. При температурах 150-250 ^{o}С в качестве фильтрующего элемента используется стеклоткань.

Для технических расчетов тканевых фильтров Пейсаховым И.Л. получена формула для определения гидравлического сопротивления фильтра ***ΔP*** в любой момент времени ***t***:

$$\Delta P = \frac{817 \cdot w_{ф} \cdot m \cdot (1 - e_n)}{d_n^2 \cdot e_n^3} \cdot \left(\frac{581 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - e_n) \cdot d_m^{0,23}}{e_m^{3,24}} + \frac{z_1 \cdot w_{ф} \cdot t}{r_n} \right) \qquad (3.1)$$

где $w_{ф}$ - скорость фильтрации, м/с;

μ – динамический коэффициент вязкости газа, Н·с/м^2;
ε_n – пористость слоя пыли, доли единицы;
ε_m – пористость ткани, доли единицы;
d_m – средний размер частиц пыли;
ρ_n – плотность пыли, кг/м^3;
z_1 – начальная запыленность газа, кг/м^3.

Из уравнения (3.1) можно получить значения коэффициентов A и B.

$$A = \frac{0{,}475 \times (1 - e_n)^2}{d_m^{2{,}77} \times e_n^3 \times e_m^{3{,}24}} \tag{3.2}$$

$$B = \frac{817 \times (1 - e_n)}{d_m \times e_n^3 \times r_n} \tag{3.3}$$

При заданной величине максимального перепада давления на фильтре ΔP_{max} можно найти продолжительность работы фильтра между двумя регенерациями t_p.

Количество пыли, накопленное на единице площади фильтра за время t_p, будет равно:

$$M_1 = z_1 \times w_{ф} \times t_p \tag{3.4}$$

Подставляя полученное выражение в формулу:

$$\mathrm{D}P = \frac{k_o \times m \times w_{ф} \times H}{r_o^2} \tag{3.5}$$

где k_o – коэффициент сопротивления пористой среды:

$$k_o = \frac{8 \times a^2}{(1 - j) \times d}, \tag{3.6}$$

где a – коэффициент извилистости пор;
φ – плотность упаковки, получим следующее выражение:

$$\mathrm{D}P = \mathrm{D}P_1 + \mathrm{D}P_2 = m \times w_{ф} \times (A + B \times z_1 \times w_{ф} \times t_p) \tag{3.7}$$

Откуда вычисляем значение t_p:

$$t_p = \frac{\frac{\Delta P}{m \times w_ф} - A}{B \times z_1 \times w_ф} \qquad (3.8)$$

Чтобы избежать громоздких расчетов для вычисления ΔP_1 и ΔP_2 применяются номограммы. На рисунке 4 представлена номограмма для определения сопротивления ткани ΔP_1, на рисунке 5 – номограмма для определения сопротивления слоя пыли ΔP_2.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А) предварительная работа

Подготовка к выполнению производится аналогично с лабораторной работой № 1.

Пылезаборные трубки устанавливаются в лючки Л-6 и Л-8.

Б) проведение испытания аппарата

1. открыть шиберы (поз.10, 11, 12, 13) и закрыть (поз. 1, 6, 9, 14, 16) согласно рис.1.
2. включить вентиляционную установку.
3. произвести замеры полного, статического и динамического давлений на входе и выходе из аппарата при помощи микроманометров. Произвести, в случае необходимости, регулировку шибера 23, так, чтобы значение $h_{изм}$ по микроманометру было приблизительно равно 3-4 мм вод.ст., т.е. чтобы средняя скорость в сечении входного патрубка была 0,3 м/с.
4. включить дозатор пыли, одновременно включив секундомер.
5. по окончании подачи пыли произвести отключение секундомера, вентустановки, дозатора пыли и электрического аспиратора.
6. извлечь из патронов запыленные бумажные фильтры и сложить их так, чтобы из них не могла высыпаться пыль.

В) проведение расчетов

Порядок проведения расчетов приведен в лабораторной работе № 1. Результаты измерений и вычислений приводятся в таблице № 4.

1. определить расход воздуха через фильтры, м^3/с (скорость воздуха в канале пылезаборной трубки должна соответствовать $u_{ср}$ в сечении воздуховода):

$$V_{а.з.} = u_{ср} \times f_{п/з.тр.} \qquad (3.9)$$

где $f_{п/з.тр.}$ - площадь канала пылезаборной трубки, м^2 (Ø 2,8 мм);

2. привести действительный расход воздуха в сечении воздуховода к нормальным условиям, м^3/с:

$$L_o = L_д \times \frac{273 \times (P_б \pm P_в)}{(273 + t_в) \times 101,3} \qquad (3.10)$$

$L_д$ - действительный расход воздуха в сечении воздуховода во время испытаний, м^3/с;

$P_б$ - барометрическое давление, кПа;

$P_в$ - избыточное давление (разряжение) в воздуховоде, кПа;

$t_в$ - температура воздуха в воздуховоде, ^{o}С.

3. определить скорость фильтрации $\omega_ф$. Она должна находиться в пределах 0,015 м^3/(м^2·с):

$$w_ф = \frac{L_o}{F_ф} \qquad (3.11)$$

4. произвести расчет коэффициента очистки циклона по формуле:

$$h = 1 - \frac{M_2}{M_1} \qquad (3.12)$$

где M_1 и M_2 - масса пыли до и после циклона соответственно, мг;

5. произвести вычисление пылесодержания, г/м^3:

$$C_п = \frac{DM}{V_o \times t} \qquad (3.13)$$

где DM - привес пыли за время опыта, г;

V_o - объем воздуха, проходящего через электрический аспиратор, м^3/с.;

t - время проведения опыта, с.

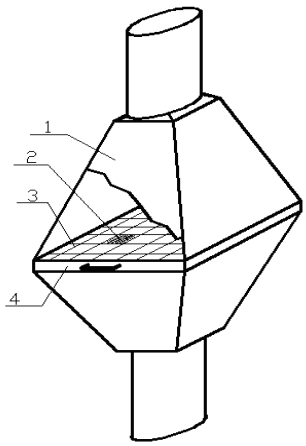

Рисунок 3 – Тканевый фильтр: 1 – корпус фильтра; 2 - фильтрующая ткань; 3 – решетка; 4 – рамка.

Таблица 3 - Физические параметры сухого воздуха
при давлении 101,3 Па

T, K	**ρ, кг/м^3**	**μ·10^{-6}, Н·с/м^2**	**ν·10^{-6}, м^2/с**
273	1,293	17,2	13,28
283	1,247	17,7	14,16
293	1,205	18,1	15,06
303	1,165	18,6	16,00

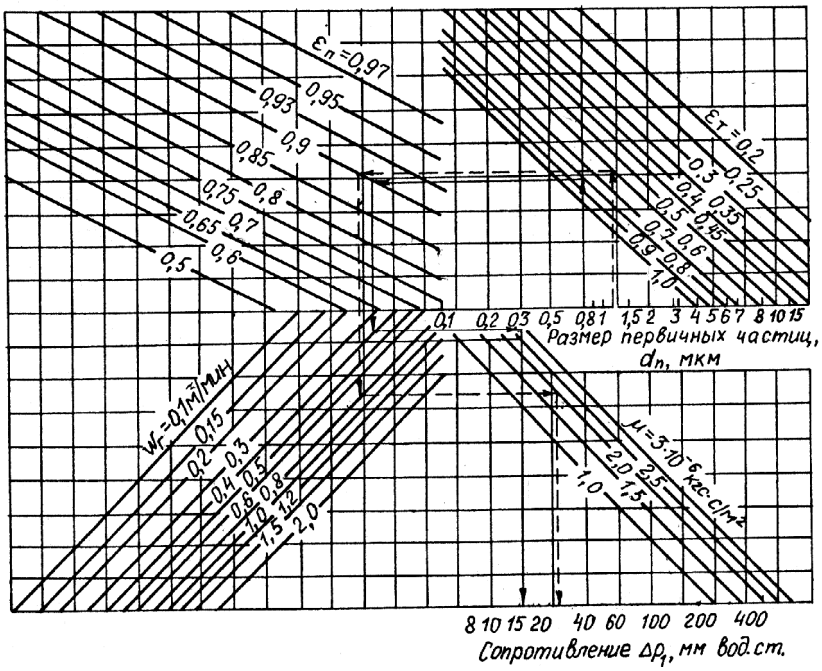

Рисунок 4 – Номограмма определения сопротивления ткани ΔP_1

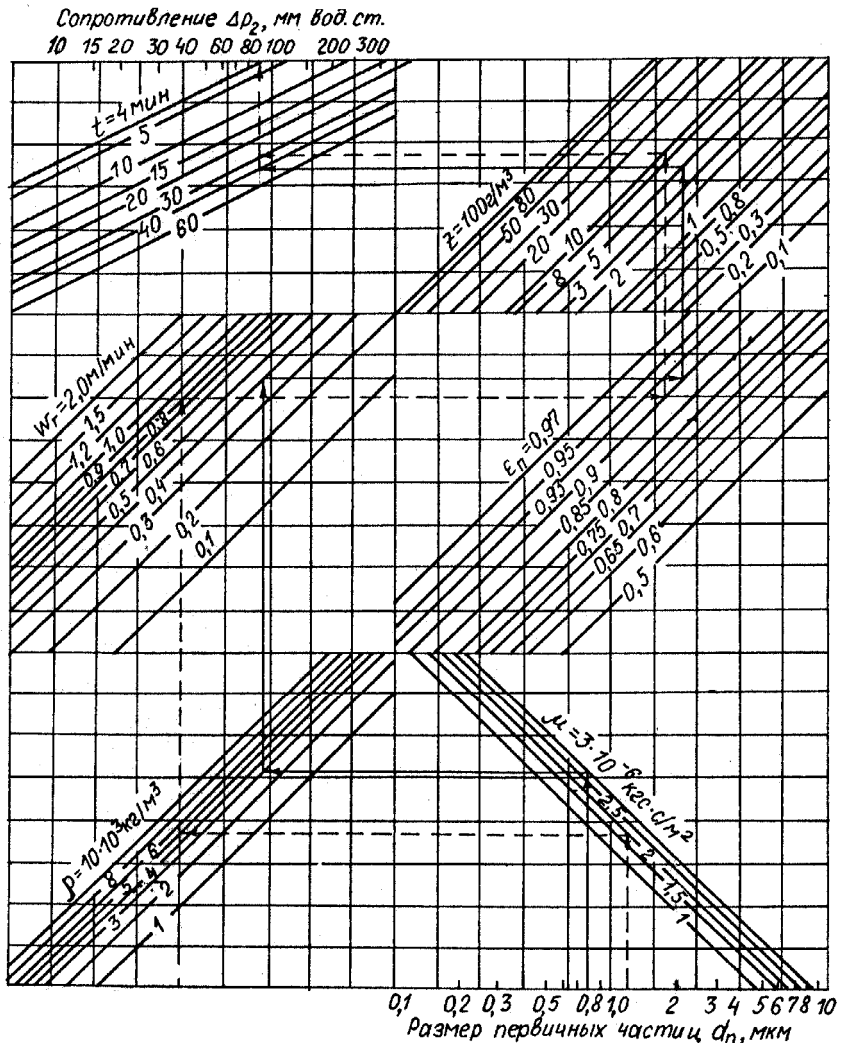

Рисунок 5 – Номограмма определения сопротивления слоя пыли ΔP_2

Таблица 4 - Результаты экспериментов по определению эффективности работы фильтры

№ п/п	Скорость воздуха в в воздуховоде υ, м/с	Расход в сечении $L_д$, м³/с	Расход в сечении $L_о$, м³/с	Расход воздуха через аспиратор, л/мин	Расход воздуха через аспиратор, м³/с	Площадь канала пылезаборной трубки, м²	Плотность воздуха при рабочих условиях, кг/м³	Динамическая вязкость при рабочих условиях, Н·с/м²	Барометрическое давление $P_б$, кПа	Разрежение в системе, кПа	Концентрация пыли до фильтра, г/м³	Средний размер частиц, $d_м$, мкм	Плотность пыли, кг/м³	Пористость ткани, $\varepsilon_т$	Пористость слоя пыли, $\varepsilon_п$	Максимальный перепад давления на фильтре, Па	Сопротивление слоя ткани, ΔP_1, Па	Сопротивление слоя пыли, ΔP_2, Па	Продолжительность регенерации , t	Эффективность очистки фильтра, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

В данной лабораторной работе необходимо произвести испытания на трех фракциях пыли и сделать вывод об эффективности очистки фильтра на каждой фракции.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАСКАДНОЙ ОЧИСТКИ ВЕНТВЫБРОСОВ (ЦИКЛОН-ИПА)

Принцип действия установки

В системах аспирации и пневмотранспорта для улавливания отходов используется различные циклоны, коллекторы. Однако данное оборудование не позволяет очищать воздушные выбросы от мелкодисперсной пыли, что ведет к повышенной запыленности воздуха в самих цехах и на окружающей территории предприятий.

Невозможность обеспечить глубокую очистку воздуха обуславливается тем, что установленные в системах аспирации и пневмотранспорте очистные устройства не рассчитаны на улавливание мелкодисперсной пыли. Отделение более легких и мелких частиц можно осуществить, имея дополнительную очистку воздушных выбросов. В связи с этим новые схемы системы аспирации промышленных предприятий с дополнительной установкой устройств для глубокой очистки воздушных выбросов являются наиболее приемлемыми. Целью данной лабораторной работы является экспериментальное исследование и определение основных характеристик установки очистки вентвыбросов «циклон-ИПА».

Для увеличения степени очистки воздух очищается последовательно в циклоне, а затем в инжекционно-пенном аппарате. В циклоне от газового потока отделяются крупные частицы пыли, для отделения более мелких частиц вентвыбросы направляются в ИПА.

Порядок расчета

Степень очистки воздуха от пыли (эффективность) характеризует отношение массы пыли $G_у$, кг, уловленной в оборудовании, к массе поступившей в него пыли $G_{вх}$, кг, (обычно в %, иногда в долях единицы)

$$h = \frac{G_у}{G_{вх}} \cdot 100, \qquad (4.1)$$

Степень очистки можно определить также, зная концентрацию пыли в воздухе до и после очистки (соответственно $c_{вх}, c_{вых}$ в мг/м^3). Если не происходит подсоса воздуха при эксплуатации пылеулавливающего оборудования, проскок определяют по формуле

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх}}{c_{вых}}\right) \cdot 100, \qquad (4.2)$$

Однако при эксплуатации некоторых видов пылеулавливающего оборудования, например, рукавных фильтров, допустим некоторый подсос воздуха. Для этого случая проскок определяют по формуле

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх} \cdot L_{вых}}{c_{вых} \cdot L_{вх}}\right) \cdot 100, \qquad (4.3)$$

где $L_{вх}, L_{вых}$ - соответственно расход воздуха при входе и выходе из пылеулавливающего оборудования.

При последовательной установке нескольких аппаратов – каскадной очистке, которая применяется для повышения качества очистки, эффективность, %, определяется по формуле

$$h = \left[1 - (1 - h_1) \cdot (1 - h_2) \cdot \ldots \cdot (1 - h_n)\right] \cdot 100 \qquad (4.4)$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_n$ - эффективность очистки каждого из пылеотделителей, входящих в каскад.

Эффективность очистки является важнейшей характеристикой пылеотделителя. Её принимают во внимание при выборе пылеулавливающего оборудования в соответствии с предельно допустимой концентрацией пыли в очищаемом воздухе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А) предварительная работа

Подготовка к выполнению производится аналогично с лабораторной работой № 1.

Пылезаборные трубки устанавливаются в лючки Л-1, Л-2 и Л-5.

Б) проведение испытания аппарата

1. открыть шиберы (поз.2,3, 6, 7, 14, 15) и закрыть (поз. 1, 4, 5, 8, 13, 16) согласно рис.1.
2. включить вентиляционную установку.
3. произвести замеры полного, статического и динамического давлений на входе и выходе из аппарата при помощи микроманометров.
4. включить дозатор пыли, одновременно включив секундомер.
5. по окончании подачи пыли произвести отключение секундомера, вентустановки, дозатора пыли и электрического аспиратора.
6. извлечь из патронов запыленные бумажные фильтры и сложить их так, чтобы из них не могла высыпаться пыль.

В) проведение расчетов

Порядок проведения расчетов приведен в лабораторной работе № 1. Результаты измерений и вычислений приводятся в таблице № 4.

1. определить расход воздуха через фильтры, м^3/с (скорость воздуха в канале пылезаборной трубки должна соответствовать $u_{ср}$ в сечении воздуховода):

$$V_{а.э.} = u_{ср} \times f_{п/з.тр.} \qquad (4.5)$$

где $f_{п/з.тр.}$ - площадь канала пылезаборной трубки, м^2 (Ø 2,8 мм);

2. привести действительный расход воздуха в сечении воздуховода к нормальным условиям, м^3/с:

$$L_о = L_д \times \frac{273 \times (P_б \pm P_в)}{(273 + t_в) \times 101,3} \qquad (4.6)$$

$L_д$ - действительный расход воздуха в сечении воздуховода во время испытаний, м^3/с;

$P_б$ - барометрическое давление, кПа;

$P_в$ - избыточное давление (разряжение) в воздуховоде, кПа;

$t_в$ - температура воздуха в воздуховоде, ^{o}С.

3. произвести расчет коэффициента очистки циклона и ИПА по формуле:

$$h = 1 - \frac{M_2}{M_1} \qquad (4.7)$$

где M_1 и M_2 - масса пыли до и после циклона соответственно, мг;

4. произвести расчет эффективности каскадной очистки по формуле 4.4;

5. произвести вычисление пылесодержания, г/м^3:

$$C_п = \frac{DM}{V_о \times t} \qquad (4.8)$$

где DM - привес пыли за время опыта, г;

$V_о$ - объем воздуха, проходящего через электрический аспиратор, м^3/с.;

t - время проведения опыта, с.

В данной лабораторной работе необходимо произвести испытания на различных фракциях пыли и сделать вывод об эффективности очистки каскадной установки.

Таблица 5 - Результаты экспериментов по определению эффективности работы каскада

№ п/п	Скорость воздуха в воздуховоде υ, м/с	Расход в сечении $L_д$, $м^3/с$	Расход в сечении $L_о$, $м^3/с$	Расход воздуха через аспиратор, л/мин	Расход воздуха через аспиратор, $м^3/с$	Площадь канала пылезаборной трубки, $м^2$	Плотность воздуха при рабочих условиях, $кг/м^3$	Динамическая вязкость при рабочих условиях, $Н·с/м^2$	Барометрическое давление $P_б$, кПа	Разрежение в системе, кПа	Масса уловленной пыли, мг			Продолжительность проведения опыта, с	Концентрация пыли до циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после ИПА, $г/м^3$	Эффективность очистки циклона, %	Эффективность очистки ИПА, %	Эффективность очистки каскада, %
											До циклона	После циклона	После ИПА							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАСКАДНОЙ ОЧИСТКИ ВЕНТВЫБРОСОВ (ЦИКЛОН-ФИЛЬТР)

Целью данной лабораторной работы является экспериментальное исследование и определение основных характеристик установки очистки вентвыбросов «циклон-фильтр».

Для увеличения степени очистки воздух очищается последовательно в циклоне, а затем в фильтре. В циклоне от газового потока отделяются крупные частицы пыли, для отделения более мелких частиц вентвыбросы направляются в фильтр. Данная схема применяется в случае отсутствия возможности применения ИПА, а также для исключения образования стоков (смеси воды и пыли).

Порядок расчета

Степень очистки воздуха от пыли (эффективность) характеризует отношение массы пыли $G_{\text{у}}$, кг, уловленной в оборудовании, к массе поступившей в него пыли $G_{вх}$, кг, (обычно в %, иногда в долях единицы)

$$h = \frac{G_{\text{у}}}{G_{вх}} \cdot 100, \tag{5.1}$$

Степень очистки можно определить также, зная концентрацию пыли в воздухе до и после очистки (соответственно $c_{вх}, c_{вых}$ в мг/м^3). Если не происходит подсоса воздуха при эксплуатации пылеулавливающего оборудования, проскок определяют по формуле

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх}}{c_{вых}}\right) \cdot 100, \tag{5.2}$$

Однако при эксплуатации некоторых видов пылеулавливающего оборудования, например, рукавных фильтров, допустим некоторый подсос воздуха. Для этого случая проскок определяют по формуле:

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх} \cdot L_{вых}}{c_{вых} \cdot L_{вх}}\right) \cdot 100, \tag{5.3}$$

где $L_{вх}, L_{вых}$ - соответственно расход воздуха при входе и выходе из пылеулавливающего оборудования.

При последовательной установке нескольких аппаратов – каскадной очистке, которая применяется для повышения качества очистки, эффективность, %, определяется по формуле

$$h = \left[1-(1-h_1)\cdot(1-h_2)\cdot\ldots\cdot(1-h_n)\right]\cdot 100 \qquad (5.4)$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_n$ - эффективность очистки каждого из пылеотделителей, входящих в каскад.

Эффективность очистки является важнейшей характеристикой пылеотделителя. Её принимают во внимание при выборе пылеулавливающего оборудования в соответствии с предельно допустимой концентрацией пыли в очищаемом воздухе.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

А) предварительная работа

Подготовка к выполнению производится аналогично с лабораторной работой № 1.

Пылезаборные трубки устанавливаются в лючки Л-1, Л-2 и Л-7.

Б) проведение испытания каскада

1. открыть шиберы (поз. 2,3,4, 5, 8, 9, 11) и закрыть (поз. 1, 6, 7, 10, 13, 15) согласно рис.1.
2. включить вентиляционную установку.
3. произвести замеры полного, статического и динамического давлений на входе и выходе из аппарата при помощи микроманометров.
4. включить дозатор пыли, одновременно включив секундомер.
5. по окончании подачи пыли произвести отключение секундомера, вентустановки, дозатора пыли и электрического аспиратора.
6. извлечь из патронов запыленные бумажные фильтры и сложить их так, чтобы из них не могла высыпаться пыль.

В) проведение расчетов

Порядок проведения расчетов приведен в лабораторной работе № 1. Результаты измерений и вычислений приводятся в таблице № 5.

1. определить расход воздуха через фильтры, м^3/с (скорость воздуха в канале пылезаборной трубки должна соответствовать $u_{ср}$ в сечении воздуховода):

$$V_{а.э.} = u_{ср} \times f_{п/з.тр.} \qquad (5.5)$$

где $f_{п/з.тр.}$- площадь канала пылезаборной трубки, м^2 (Ø 2,8 мм);

2. привести действительный расход воздуха в сечении воздуховода к нормальным условиям, м^3/с:

$$L_o = L_д \times \frac{273 \times (P_б \pm P_в)}{(273 + t_в) \times 101,3} \qquad (5.6)$$

$L_д$ - действительный расход воздуха в сечении воздуховода во время испытаний, м^3/с;
$P_б$ - барометрическое давление, кПа;
$P_в$ - избыточное давление (разряжение) в воздуховоде, кПа;
$t_в$ - температура воздуха в воздуховоде, ^{o}С.

3. произвести расчет коэффициента очистки циклона и ИПА по формуле:

$$h = 1 - \frac{M_2}{M_1} \qquad (5.7)$$

где M_1 и M_2 - масса пыли до и после циклона соответственно, мг;

4. произвести расчет эффективности каскадной очистки по формуле 5.4;
5. произвести вычисление пылесодержания, г/м^3:

$$C_п = \frac{DM}{V_o \times t} \qquad (5.8)$$

где DM - привес пыли за время опыта, г;
V_o - объем воздуха, проходящего через электрический аспиратор, м^3/с;
t - время проведения опыта, с.

В данной лабораторной работе необходимо произвести испытания на различных фракциях пыли и сделать вывод об эффективности очистки каскадной установки.

Таблица 5 - Результаты экспериментов по определению эффективности работы каскада

№ п/п	Скорость воздуха в воздуховоде υ, м/с	Расход в сечении $L_д$, $м^3/с$	Расход в сечении $L_о$, $м^3/с$	Расход воздуха через аспиратор, л/мин	Расход воздуха через аспиратор, $м^3/с$	Площадь канала пылезаборной трубки, $м^2$	Плотность воздуха при рабочих условиях, $кг/м^3$	Динамическая вязкость при рабочих условиях, $Н·с/м^2$	Барометрическое давление $P_б$, кПа	Разрежение в системе, кПа	Масса уловленной пыли, мг			Продолжительность проведения опыта, с	Концентрация пыли до циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после фильтра, $г/м^3$	Эффективность очистки циклона, %	Эффективность очистки фильтра, %	Эффективность очистки каскада, %
											До циклона	После циклона	После фильтра							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАСКАДНОЙ ОЧИСТКИ ВЕНТВЫБРОСОВ (ЦИКЛОН-ФИЛЬТР-ИПА)

Целью данной лабораторной работы является определение основных характеристик установки очистки вентвыбросов «циклон-фильтр-ИПА». Так называемая трехступенчатая схема очистки воздуха применяется для возможного применения удаляемого воздуха в качестве рециркуляционного.

В деревообрабатывающей промышленности система каскада состоит из коллектора-сборника, циклона и фильтра. Предложенная схема позволяет не только снизить концентрацию пыли в выбросном воздухе, но также снизить энергозатраты на нагрев наружного воздуха путем применения рециркуляции очищенного воздуха.

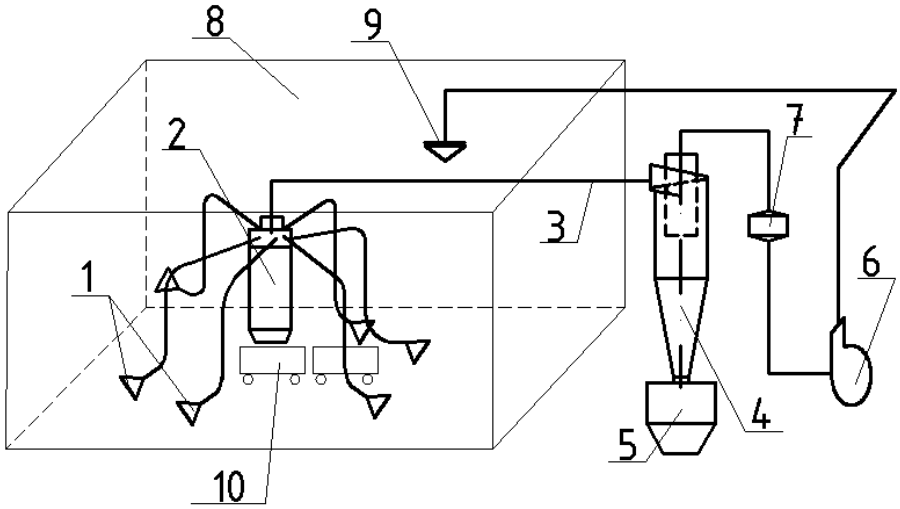

Рисунок 6 - Принципиальная схема системы аспирации с применением комбинации вертикального коллектора-сборника, циклона и фильтра: 1 – пылеприемник; 2 – вертикальный коллектор-сборник; 3 - материалопровод; 4 – циклон; 5 – бункер; 6 – вентилятор; 7 – фильтр; 8 – помещение цеха; 9 – воздухораздающее устройство; 10 – вагонетка.

Преимуществами такой системы можно назвать снижение концентрации пыли в выбросном воздухе, экономия тепловой энергии, благодаря применению рециркуляции, возможность установки фильтра до вентилятора, что значительно снижает его преждевременный износ. Применение в качестве фильтрующих материалов различных тканей, позволяет использовать их в зависимости от фракционного состава пыли, что дает возможность выбора того или иного фильтра в зависимости от технических и экономических соображений.

В нашей лабораторной работе для увеличения степени очистки воздух очищается последовательно в циклоне, в фильтре, а затем в ИПА. Поскольку существующая лабораторная установка не дает реальную возможность такой последовательности прохождения запыленного воздуха, то экспериментальная часть в работе отсутствует.

Проведение расчетов

Степень очистки воздуха от пыли (эффективность) характеризует отношение массы пыли $G_у$, кг, уловленной в оборудовании, к массе поступившей в него пыли $G_{вх}$, кг, (обычно в %, иногда в долях единицы)

$$h = \frac{G_у}{G_{вх}} \cdot 100, \qquad (6.1)$$

Степень очистки можно определить также, зная концентрацию пыли в воздухе до и после очистки (соответственно $c_{вх}, c_{вых}$ в мг/м^3). Если не происходит подсоса воздуха при эксплуатации пылеулавливающего оборудования, проскок определяют по формуле

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх}}{c_{вых}}\right) \cdot 100, \qquad (6.2)$$

Однако при эксплуатации некоторых видов пылеулавливающего оборудования, например, рукавных фильтров, допустим некоторый подсос воздуха. Для этого случая проскок определяют по формуле:

$$h = \left(1 - \frac{c_{вх} \cdot L_{вых}}{c_{вых} \cdot L_{вх}}\right) \cdot 100, \qquad (6.3)$$

где $L_{вх}, L_{вых}$ - соответственно расход воздуха при входе и выходе из пылеулавливающего оборудования.

При последовательной установке нескольких аппаратов – каскадной очистке, которая применяется для повышения качества очистки, эффективность, %, определяется по формуле

$$h = \left[1 - (1 - h_1) \cdot (1 - h_2) \cdot \ldots \cdot (1 - h_n)\right] \cdot 100 \qquad (6.4)$$

где $h_1, h_2, \ldots, h_n$ - эффективность очистки каждого из пылеотделителей, входящих в каскад.

Эффективность очистки является важнейшей характеристикой пылеотделителя. Её принимают во внимание при выборе пылеулавливающего оборудования в соответствии с предельно допустимой концентрацией пыли в очищаемом воздухе.

Порядок проведения расчетов приведен в лабораторной работе № 5. Результаты измерений и вычислений приводятся в таблице № 6. В качестве исходных данных принять результаты предыдущих работ.

Таблица 6 - Результаты экспериментов по определению эффективности работы каскада

№ п/п	Скорость воздуха в воздуховоде υ, м/с	Расход в сечении $L_д$, $м^3/с$	Расход в сечении $L_о$, $м^3/с$	Расход воздуха через аспиратор, л/мин	Расход воздуха через аспиратор, $м^3/с$	Площадь канала пылезаборной трубки, $м^2$	Плотность воздуха при рабочих условиях, $кг/м^3$	Барометрическое давление $P_б$, кПа	Разрежение в системе, кПа	Продолжительность проведения опыта, с	Концентрация пыли до циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после циклона, $г/м^3$	Концентрация пыли после фильтра, $г/м^3$	Концентрация пыли после ИПА, $г/м^3$	Эффективность очистки циклона, %	Эффективность очистки фильтра, %	Эффективность очистки ИПА, %	Эффективность очистки каскада, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19