

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

РАСЧЕТ ЦИКЛОНА

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
для студентов V и VI курсов
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение,
вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Минск
БНТУ
2010

УДК 628.511 (075.8)

ББК 30н

Р 24

С о с т а в и т е л и:

В.Д. Сизов, В.Н. Короткий, И.С. Бракович

Р е ц е н з е н т ы:

С.Л. Ровин, В.И. Глуховский

Цель методических указаний – помочь студентам в самостоятельном выполнении расчетно-графической работы в соответствии с программой курса «Очистка вентиляционного воздуха и ресурсосбережение».

Рассматриваются вопросы научно обоснованного подбора типа циклона и расчета его технических характеристик в зависимости от вида пыли, даются рекомендации по выполнению работы, ее составу и объему. Приводится список рекомендуемой литературы и приложения, которые включают табличные и графические данные, необходимые для выполнения расчетов.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.	4
1. Общие положения.	5
2. Порядок выполнения работы.	12
2.1. Цель и исходные данные для выполнения работы.	12
2.2. Порядок проведения расчетов.	12
2.3. Пример выполнения работы.	15
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.	17
Литература.	18
ПРИЛОЖЕНИЕ.	19

ВВЕДЕНИЕ

Целью изучения материалов, изложенных в данном издании, является ознакомление на практических занятиях с разновидностями циклонов для очистки газовых выбросов предприятий от пыли и их техническими характеристиками. Студенты должны научиться правильно оценивать состав пылегазовых выбросов, подбирать по физико-химическим свойствам пыли соответствующий тип циклона, рассчитывать его технические характеристики с целью наиболее эффективной очистки выбросов от пыли.

Приведенный пример расчета параметров циклона позволит студентам верно производить необходимые вычисления и оценивать эффективность работы циклона.

Методические указания разработаны в соответствии с учебной программой курса «Очистка вентиляционных выбросов и ресурсосбережение».

1. Общие положения

Очистка от пыли необходима во многих случаях: соблюдение санитарно-гигиенических требований для обеспечения комфортного проживания населения и создание безопасных условий для эффективной работы производственного персонала на рабочих местах, защита вентиляционного оборудования (например, калориферов, воздухоохладителей, вентиляторов и т.д.); очистка промышленных технологических выбросов и т.п.

Название (тип) пылеулавливающего аппарата зависит от механизма отделения частиц пыли от воздушно-газового потока. При *гравитационном осаждении* частицы аэрозолей осаждаются из потока загрязненного воздуха под действием силы тяжести. Для этого необходимо создать соответствующий режим движения загрязненного воздуха в аппарате с учетом размера частиц, их плотности и т.д.

Инерционное осаждение основано на том, что частицы пыли и взвешивающая среда ввиду значительной разности плотностей обладают различной инерцией. Частицы пыли, двигаясь по инерции, отделяются от газовой среды в результате столкновения с препятствием.

Осаждение под действием центробежной силы происходит при криволинейном движении загрязненного пыле-воздушного потока. Под действием возникающих центробежных сил аэрозольные частицы отбрасываются на периферию аппарата и осаждаются в пылеприемный бункер.

Эффект зацепления. Частицы аэрозолей, взвешенные в воздушной среде, задерживаются в узких, извилистых каналах и порах при прохождении пыле-газового потока через фильтровальные материалы.

Мокрая очистка. Смачивание поверхности элементов аппаратов водой или другой жидкостью способствует задержанию пылевых частиц на данной поверхности.

Осаждение в электрическом поле. Проходя электрическое поле, частицы аэрозолей получают заряд. Двигаясь к электродам противоположного знака, они осаждаются на них.

В практике улавливания пылевых частиц находят применение и другие методы: укрупнение частиц в акустическом поле, термофорез, фотофорез, воздействие магнитного поля, биологическая очистка. В устройствах для очистки аэрозольных выбросов, наряду с основным механизмом улавливания, обычно используются и другие закономерности. Благодаря этому общая и фракционная эффективность аппарата достигает более высокого уровня.

Наибольшее распространение в системах пылеочистки получили циклоны, то есть аппараты, работающие по принципу осаждения под действием центробежной силы. Циклоны широко применяются для очистки от пыли вентиляционных и технологических выбросов во всех отраслях народного хозяйства.

Принцип работы циклона заключается в спиралевидном закручивании потока запыленного воздуха в цилиндрической части циклона, где под действием центробежной силы частицы пыли прижимаются к стенкам циклона и под влиянием сил тяжести опускаются в бункерное устройство, из которого пыли периодически удаляются через пылевой затвор. Преимущества циклонов: простота устройства и обслуживания, сравнительно небольшое аэродинамическое сопротивление, высокая производительность и невысокая стоимость. К недостаткам необходимо отнести малое улавливание пылевых частиц размером менее 5 мкм.

Эффективность очистки газа в циклонах в основном определяется дисперсным составом и плотностью частиц улавливаемой пыли, а также вязкостью газа, зависящей от его температуры. При уменьшении диаметра циклона и повышении до определенного предела скорости газа в циклоне эффективность очистки возрастает. Поэтому диаметры серийно выпускаемых циклонов не превышают 5 м. В СНГ для циклонов принят стандартизированный ряд внутренних диаметров D :

200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400 и 3000 мм.

Конструктивно циклоны могут быть выполнены одиночными, групповыми и батарейными. Среди одиночных и групповых циклонов наибольшее распространение получили циклоны НИИОГаза типов ЦН и СК-ЦН производительностью 600–230 000 м³/ч, а среди батарейных циклонов – БЦ, ПБЦ производительностью от 12 000 до 480 000 м³/ч.

В институте НИИОГаз разработан ряд конструкций цилиндрических и конических циклонов. Широкое распространение получили цилиндрические циклоны ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24 (рис. 1). Цифровое обозначение циклона соответствует углу наклона крышки аппарата и патрубка, подводящего запыленный поток. Для данных циклонов характерна удлиненная цилиндрическая часть корпуса. Циклон ЦН-15у имеет укороченную коническую часть. Его применяют при ограничении по высоте. Он имеет несколько худшие показатели, чем ЦН-15.

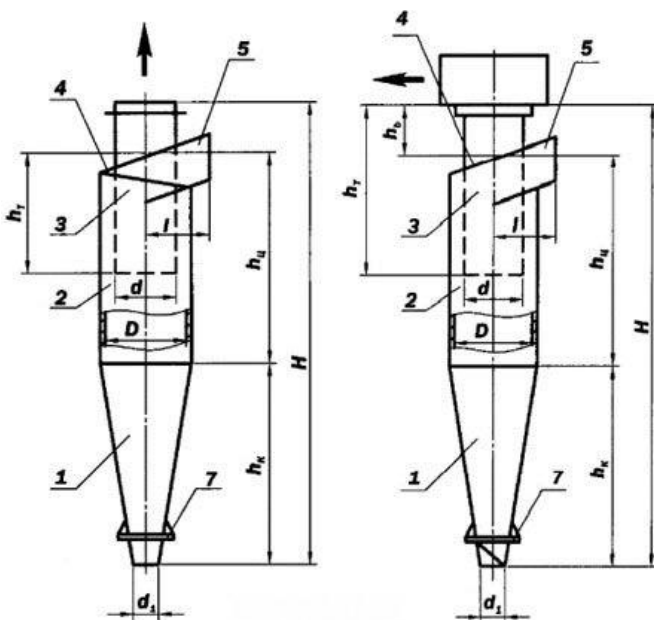


Рис. 1. Циклон ЦН:

- 1 – конус; 2 – цилиндр; 3 – выхлопная труба; 4 – винтовая крышка;
5 – входной патрубок; 6 – улитка; 7 – опорный фланец

К коническим циклонам НИИОГаз относятся аппараты СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м (рис. 2). Циклоны имеют удлиненную коническую часть и спиральный входной патрубок. Они предназначались в основном для улавливания сажи и отличались высокой эффективностью очистки.

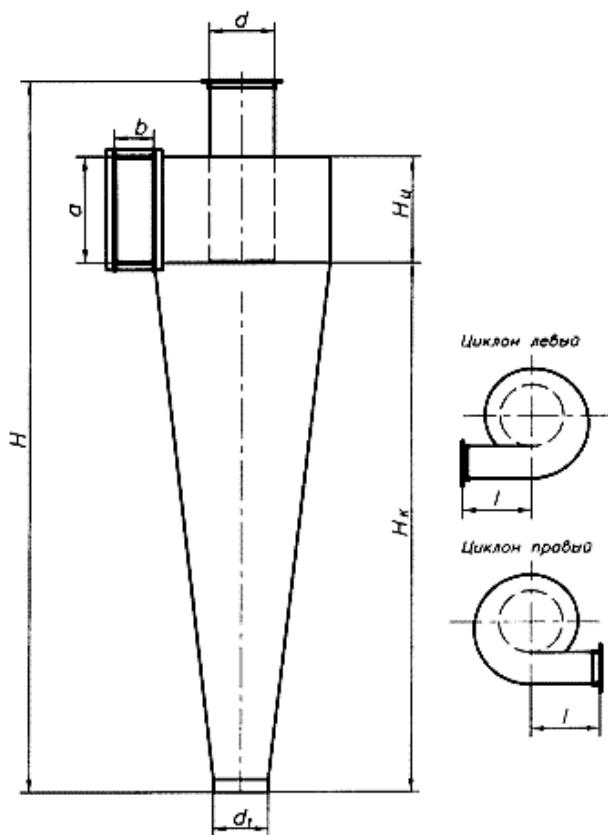


Рис. 2. Циклон СК ЦН

Циклоны СИОТ (Свердловский институт охраны труда) полностью лишены цилиндрической части (рис. 3). Выхлопная труба опущена в верхнюю часть конуса. Входной патрубок имеет треугольное сечение. При установке циклона на всасывающей линии вентилятора очищенный газ (воздух) выходит из аппарата через раскручиватель с винтовой крышкой, а при установке на нагнетательной линии – через шахту с колпаком или раскручивателем в виде плоского щита.

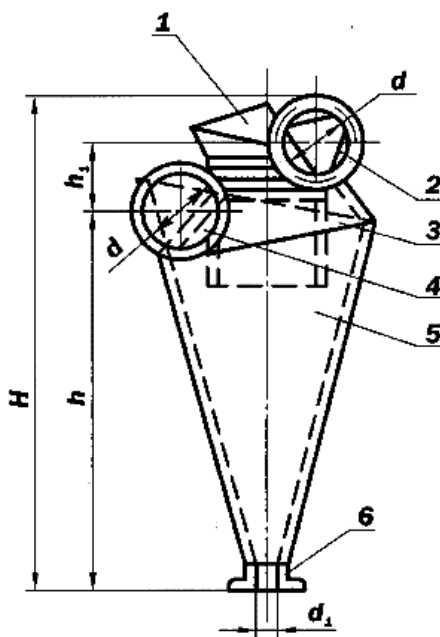


Рис. 3. Циклон СИОТ:

1 – раскручиватель с винтовой крышкой; 2, 4 – выходной и входной патрубок;
3 – крышка корпуса; 5 – корпус; 6 – пылеотводящий патрубок

Циклоны ВЦНИИОТ (г. Москва) отличаются наличием обратного конуса (рис. 4). Пылегазовый поток проходит в бункер через кольцевую щель между двумя соосными конусными

поверхностями. Обеспыленный газ (воздух) возвращается в корпус циклона через отверстие в вершине внутреннего конуса.

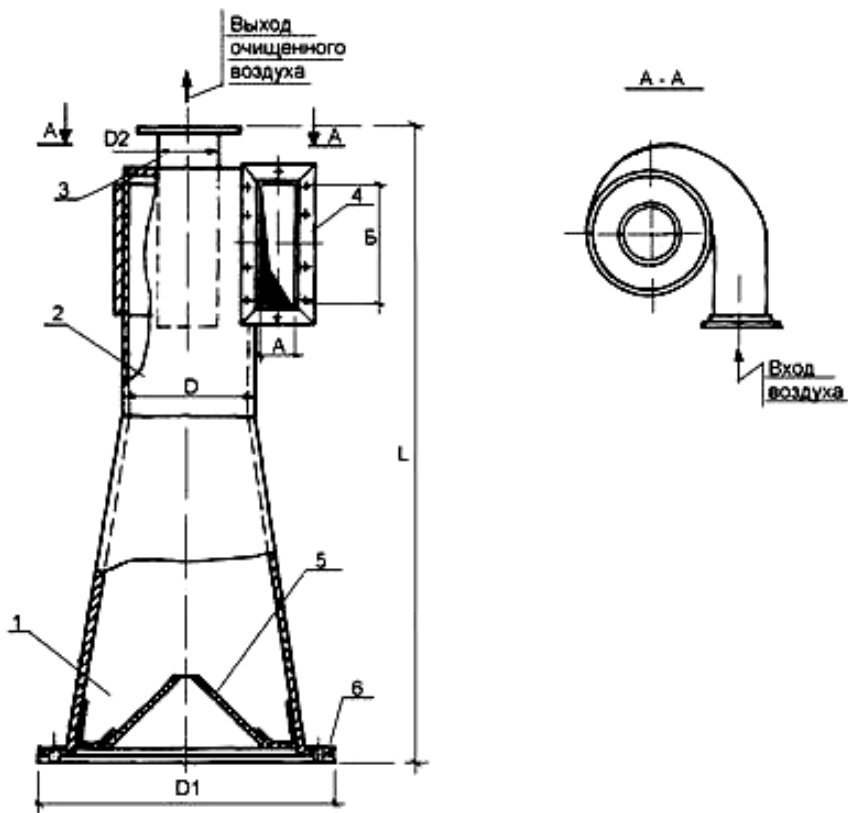


Рис. 4. Циклон ВЦНИИОТ:

- 1 – обратный конус; 2 – цилиндр; 3 – выхлопная труба;
- 4 – входной патрубок; 5 – коническая вставка (внутренний конус);
- 6 – присоединительный фланец

Циклоны СТФ-Ц, разработанные в Белорусском национальном техническом университете, отличаются повышенной возможностью коагуляции пыли, т. е. увеличения среднего раз-

мера частиц пыли за счет более мелких и разделения по фракциям (рис. 5). Наибольший эффект улавливания наблюдается при очистке газовых выбросов асфальтобетонных заводов.

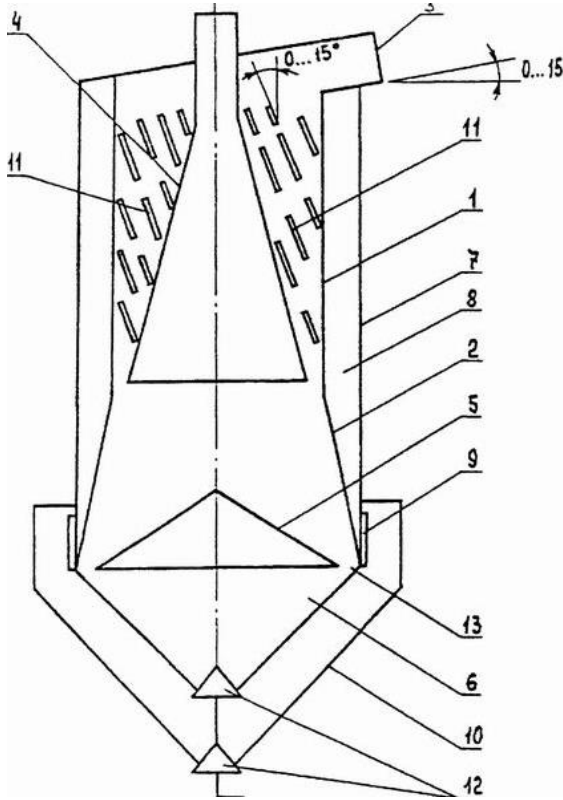


Рис. 5. Циклон СТФ-Ц:

1 – цилиндрическая часть корпуса циклона; 2 – коническая часть корпуса циклона; 3 – входной патрубок; 4 – выходной патрубок; 5 – диафрагма; 6 – внутренняя секция бункера; 7 – кожух циклона; 8 – пространство между корпусом и кожухом циклона; 9 – отверстия в кожухе; 10 – внешняя секция бункера; 11 – отверстия в цилиндрической части корпуса; 12 – запорное устройство; 13 – кольцевое отверстие

Для улавливания определенных видов пыли с различными физико-химическими показателями применяются оптимальные модели циклонов. В табл. П1 приведены основные виды пылей и типы циклонов, наиболее эффективно их улавливающие.

2. Порядок выполнения работы

2.1. Цель и исходные данные для выполнения работы

Цель работы: по исходным данным рассчитать необходимые технологические параметры работы и размеры циклонов для очистки пыли с эффективностью улавливания не менее 85 %.

Исходные данные для выполнения работы:

номер исходных данных (N) – последние две цифры в номере зачетной книжки студента (либо номер по порядку в списке группы обучения);

количество выбросов $L = 8000 + 800N$, м³/ч;

температура выбросов $t = 25 + 3N$, °С;

начальная концентрация пыли $C_n = 15 + 2N$, г/м³;

плотность пыли $c_n = 2000 + 45N$, кг/м³;

медианный диаметр $d_m = 8 + N$, мкм.

2.2. Порядок проведения расчетов

1. По виду пыли выбирают тип циклона из табл. П1 в соответствии с N студента. При значениях $N > 10$ и $N > 20$ принимают последнюю цифру в N за исходную. Из табл. П2 определяют оптимальную скорость воздуха в сечении циклона v_0 .

2. Определяют необходимую площадь сечения циклона F , м²:

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v_0},$$

где L – количество выбросов через циклон, м³/ч;

v_0 – оптимальная скорость воздуха в сечении циклона, м/с.

3. Определяют диаметр циклона D , задаваясь числом циклонов n , м:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{F}{n}}.$$

Для циклонов НИИОГаз диаметры нормируются в следующем порядке: 150, 200, 300, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм.

Принимаем ближайший больший стандартный диаметр циклона D_1 .

4. Вычисляют действительную скорость воздуха в циклоне v_0 , м/с:

$$v_0 = \frac{(1,27 \cdot L)}{3600 \cdot n \cdot (D_1)^2},$$

где D_1 – ближайший больший номенклатурный диаметр циклона. Действительная скорость в циклоне не должна отличаться от оптимальной более, чем на 15 %.

$$\Delta = \frac{v_0 - v_0'}{v_0} \cdot 100 \% < 15 \%.$$

5. Принимают компоновку циклонов в соответствии с табл. ПЗ, исходя из N . Соответственно получаем значение коэффициента местного сопротивления $\Delta \epsilon_0$.

6. Определяют динамическую вязкость воздуха для рабочих условий μ , Па/с:

$$\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{273 + t}{273}\right)^{0,683}.$$

7. Определяют аэродинамическое сопротивление циклона $\Delta P_{ц}$, Па:

$$\Delta P_{ц} = \xi_{ц} \cdot \left(\frac{\rho_{в} \cdot v_0^2}{2} \right),$$

где $\rho_{в}$ – плотность воздуха;

$\xi_{ц}$ – коэффициент местного сопротивления, отнесенный к скорости v_0 и определяемый с учетом поправочных коэффициентов по формуле

$$\xi_{ц} = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_0 + \Delta \xi_0,$$

где $\Delta \xi_0$ – коэффициент, зависящий от компоновки циклонов (табл. П3);

k_1 – коэффициент, зависящий от диаметра циклона (табл. П4);

k_2 – поправочный коэффициент на запыленность воздуха (табл. П5);

ξ_0 – коэффициент местного сопротивления из табл. П2 с выбросом в атмосферу.

8. По графику фракционной эффективности очистки (рис. П1) определяют размер пыли d_{50} с эффективностью улавливания 50 % для выбранного типа циклона с D_1 и принятых условиях.

Для определения эффективности циклона других размеров и скорости движения воздуха, его вязкости и плотности вычисляют новое значение d'_{50} , мкм:

$$d'_{50} = 548,5 \cdot d_{50} \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot \mu \cdot v_0}{\rho_n \cdot v'_0}}.$$

На график фракционной эффективности очистки (рис. П1) наносят точку с координатами 50 % и d'_{50} и из нее проводят ли-

нию, параллельную линиям графиков, которая определяет фракционную эффективность очистки запроектированного циклона.

Из условий работы по заданному медианному диаметру d_m находят соответствующую точку на оси X , восстанавливают перпендикуляр до пересечения с построенной кривой и по горизонтальной прямой на пересечении с осью Y получают искомое значение эффективности очистки запроектированного циклона.

9. Если в результате выполнения работы получена фракционная эффективность улавливания пыли менее 85 %, то необходимо увеличить количество циклонов n и произвести повторные расчеты.

10. Основные размеры циклона определяют в долях от внутреннего диаметра D_1 по следующим формулам:

выходное отверстие циклона $D_{\text{вых}} = 0,59 D_1$, мм;

размеры входного патрубка $a \times b = 1,11 \cdot D_1 \times 0,26 \cdot D_1$, мм;

общая высота циклона $4,26 D_1$, мм.

2.3. Пример выполнения работы

1. В соответствии с номером зачетной книжки выбираем циклон под № 1 – ЦН-11 (табл. П1) с оптимальной скоростью 3,5 м/с.

2. Определяем необходимую площадь сечения циклона F , м², при количестве выбросов $L = 10000$ м³/ч:

$$F = \frac{L}{3600 \cdot v_0} = \frac{10000}{3600 \cdot 3,5} = 0,79 \text{ м}^2.$$

3. Определяем диаметр циклона D , задаваясь числом циклонов $n = 2$, м:

$$D = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{F}{n}} = 1,13 \cdot 0,63 = 0,71 \text{ м}.$$

Для циклонов НИИОГаз диаметры нормируются в следующем порядке: 150, 200, 300, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400 и 1600 мм.

Принимаем ближайший больший стандартный диаметр циклона $D_1 = 800$ мм.

4. Вычисляем действительную скорость воздуха в циклоне v_0 , м/с:

$$v_0 = \frac{1,27 \cdot L}{3600 \cdot n \cdot (D_1)^2} = \frac{1,27 \cdot 10000}{3600 \cdot 2 \cdot 0,8^2} = 3,6 \text{ м/с},$$

где D_1 – ближайший больший номенклатурный диаметр циклона. Действительная скорость в циклоне не должна отличаться от оптимальной более, чем на 15 %.

$$\Delta = \frac{v_0 - v'_0}{v_0} \cdot 100 \% = \frac{3,5 - 3,6}{3,5} \cdot 100 = 2,9 \%.$$

Если условие по отличию действительной скорости от оптимальной не соблюдается ($\Delta > 15$ %), то необходимо методом подбора количества циклонов добиться соответствия.

5. Принимаем круговую компоновку циклонов и соответственно $\Delta \xi_0 = 60$.

6. Определяем динамическую вязкость воздуха для рабочих условий, Па/с:

$$\mu = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot \left(\frac{273 + t}{273} \right) = 1,75 \cdot 10^{-5} \cdot 1,1 = 1,9 \cdot 10^{-5}.$$

7. Определяем аэродинамическое сопротивление циклона, Па:

$$\Delta P_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \cdot \left(c_{\text{н}} \cdot \frac{v_0^2}{2} \right) = 65,5 \cdot \left(0,646 \cdot \frac{3,6^2}{2} \right) = 274 \text{ Па}.$$

Коэффициент местного сопротивления

$$\xi_{ц} = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_0 + \Delta\xi_0 = 1 \cdot 0,9 \cdot 6,1 + 60 = 65,5.$$

8. По графику (рис. П1) определяем размер пыли d_{50} с эффективностью улавливания 50 % для циклона ЦН-11 при стандартных условиях эксперимента он равен 2,7 мм. Для циклонов типов СИОТ, ЛИОТ и ВЦНИИОТ на рис. П1 отсутствуют графики по оценке эффективности их очистки, поэтому расчеты необходимо вести по графикам для циклонов ЦН-11, ЦН-15 и ЦН-24 соответственно.

Для определения эффективности циклона других диаметров D и скорости движения воздуха v , его вязкости μ и плотности пыли ρ вычисляем новое значение d_{50}^1 :

$$d_{50}^1 = 548,5 \cdot d_{50} \cdot \sqrt{\frac{D_1 \cdot \mu \cdot v_0}{\rho_n \cdot v_0}} = 548,5 \cdot 2,7 \cdot \sqrt{\frac{0,8 \cdot 1,9 \cdot 10^{-5} \cdot 3,5}{2000 \cdot 3,6}} = 4,8 \text{ мм.}$$

На график фракционной эффективности очистки (рис. П1) наносим точку с координатами 50 % и 4,8 мм и из нее проводим линию, параллельную линиям графиков, которая определяет фракционную эффективность очистки запроектированного циклона.

Из условий работы по заданному медианному диаметру $d_m = 32$ мм находим соответствующую точку на оси X , восстанавливаем перпендикуляр до пересечения с построенной кривой и по горизонтальной прямой на пересечении с осью Y получаем искомое значение эффективности очистки запроектированного циклона – 98 %.

9. Основные размеры циклона ЦН-11 должны быть следующими:

выходное отверстие циклона $D_{\text{вых}} = 0,59 D_1 = 0,59 \cdot 800 = 472$ мм;

размеры входного патрубка $a \times b = 1,11 D_1 \times 0,26 D_1 = 1,11 \cdot 800 \times 0,26 \cdot 800 = 888 \times 208$ мм;

общая высота циклона $4,26 D_1 = 4,26 \cdot 800 = 3408$ мм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методические указания дают возможность студентам специальности «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» изучить теоретические положения по подбору циклонов и на практике подобрать по соответствующим пылегазовым выбросам циклон необходимого типа с конкретными техническими характеристиками для обеспечения эффективности очистки не менее 85 %.

Литература

1. Теплогазоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / под ред. проф. Б.М. Хрусталева. – Минск: ДизайнПРО, 1997. – 384 с.: ил.
2. Рекомендации по проектированию и расчету пылеуловителей типа циклон для предприятий стройиндустрии / Н.В. Кислов [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 40 с.: ил.
3. Алиев, Г.М.-А. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: справочник / Г.М.-А. Алиев. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.: ил.
4. Очистка промышленных газов от пыли / В.Н. Ужов [и др.]. – М.: Химия, 1981. – 392 с.: ил.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П1

Подбор типа циклона в зависимости от вида пыли

№	Вид пыли	Тип циклона
1	Помольных и дробильных установок	ЦН-11
2	Дымовых газов котельных	ЦН-15
3	Дымовых газов котельных (при ограничении размеров)	ЦН-15у
4	Горелой земли литейных цехов	ЦН-24
5	Каталитического крекинга нефтепродуктов	СДК-ЦН-33
6	Угольная пыль, сажа	СК-ЦН-34
7	Угольная пыль, сажа	СК-ЦН-34м
8	Сухая неволокнистая, неслипающаяся	СИОТ
9	Сухая неволокнистая, неслипающаяся	ЛИОТ
10	Абразивная, слабослипающаяся	ВЦНИИОТ

Таблица П2

Коэффициенты местных сопротивлений ξ_0 циклонов
и оптимальные скорости движения воздуха v_0

Марка циклона	Скорость движения воздуха, м/с	Значение ξ_0 циклонов				
		С выбросом в атмосферу		С улиткой на выхлопной трубе		При групповой установке
	$v_0/v_{вх}$	$\xi_{ц}$	ξ_0	$\xi_{ц}$	ξ_0	$\xi_{ц}$
ЦН-11	3,5	250	6,1	235	5,2	215
ЦН-15	3,5	163	7,8	150	6,7	140
ЦН-15у	3,5	170	8,2	158	7,5	148
ЦН-24	4,5	80	10,9	73	12,5	70
СДК-ЦН-33	2	600	20,3	500	31,3	-
СК-ЦН-34	1,7	1150	24,9	-	30,3	-
СК-ЦН-34м	2	2000	-	-	30,3	-
СИОТ	12–15	-	6,0	-	4,2	-
ЛИОТ	14–15	-	4,2	-	3,7	-
ВЦНИИОТ	15–18	-	10,5	-	10,4	-

Таблица ПЗ

Коэффициент $\Delta\xi_0$ при различной компоновке циклонов

Компоновка циклонов	Значение $\Delta\xi_0$
Прямоугольная с отводом очищенного воздуха из общего коллектора	35
Прямоугольная, но с отводом очищенного воздуха через улиточные раскручиватели	28
Круговая	60

Таблица П4

Поправочный коэффициент K_1

Диаметр циклона, мм	Значение коэффициента K_1 для циклонов марок		
	ЦН-11	ЦН-15, ЦН-15у, ЦН-24	СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м, СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ
150	0,94	0,85	1
200	0,95	0,90	1
300	0,96	0,93	1
450	0,99	1	1
500	1	1	1
более 500	1	1	1

Таблица П5

Поправочный коэффициент K_2

Марка циклона	Значения коэффициента K_2 при запыленности воздуха, $\text{г}/\text{м}^3$					
	0	10	20	40	80	120
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,9	0,87
ЦН-15у	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,9	0,87
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91
СК-ЦН-34м	1	0,99	0,97	0,95	-	-
СИОТ, ЛИОТ, ВЦНИИОТ	1	1	1	1	1	1

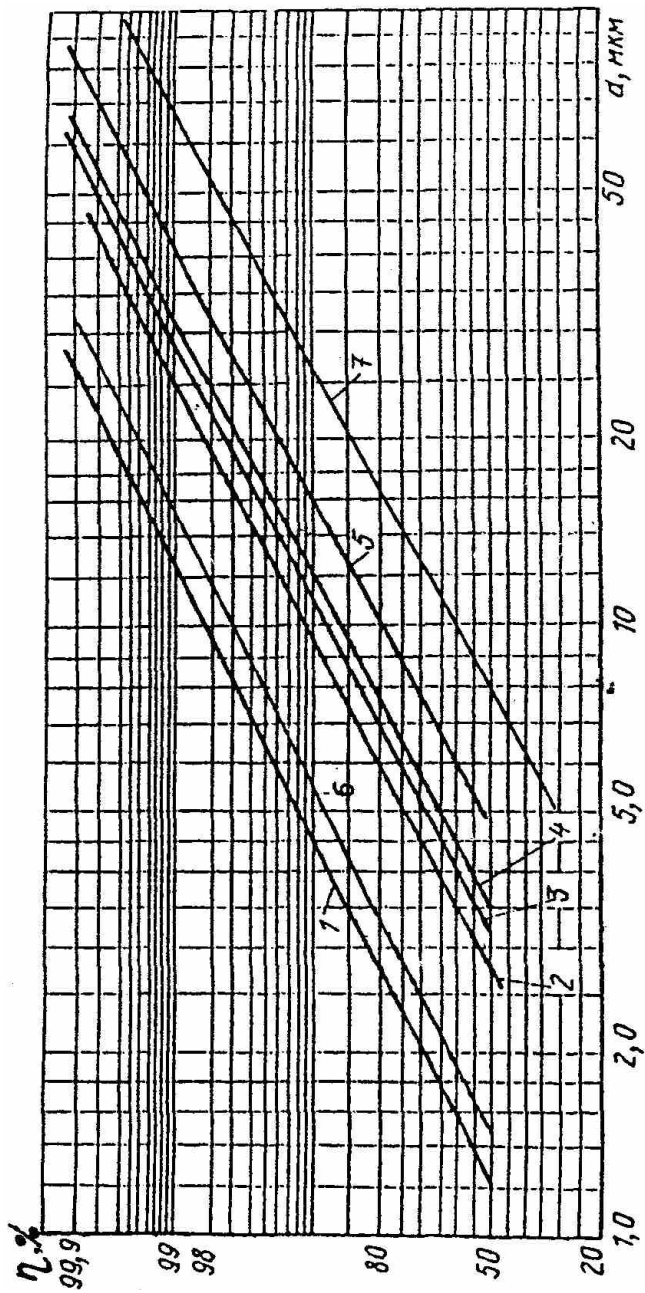


Рис. III. Фракционная эффективность очистки циклонов:

1 – СК-ЦН-34; 2 – ЦН-11; 3 – ЦН-15; 4 – ЦН-15у; 5 – ЦН-24; 6 – СДК-ЦН-33; 7 – для примера

Учебное издание

РАСЧЕТ ЦИКЛОНА

Методические указания
по выполнению расчетно-графической работы
для студентов V и VI курсов
специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение,
вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Составители:

СИЗОВ Валерий Дмитриевич
КОРОТКИЙ Владимир Николаевич
БРАКОВИЧ Игорь Сергеевич

Редактор И.Ю. Никитенко

Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой

Подписано в печать 10.06.2010.

Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 1,28. Уч.-изд. л. 1,00. Тираж 100. Заказ 380.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.