

Практическая работа №5

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛАВЛИВАНИЯ ВЫБРОСОВ

Цель работы: Познакомиться с системами и аппаратами пылеулавливания и научиться оценивать эффективность улавливания выбросов в атмосферу.

5.1. Системы и аппараты пылеулавливания

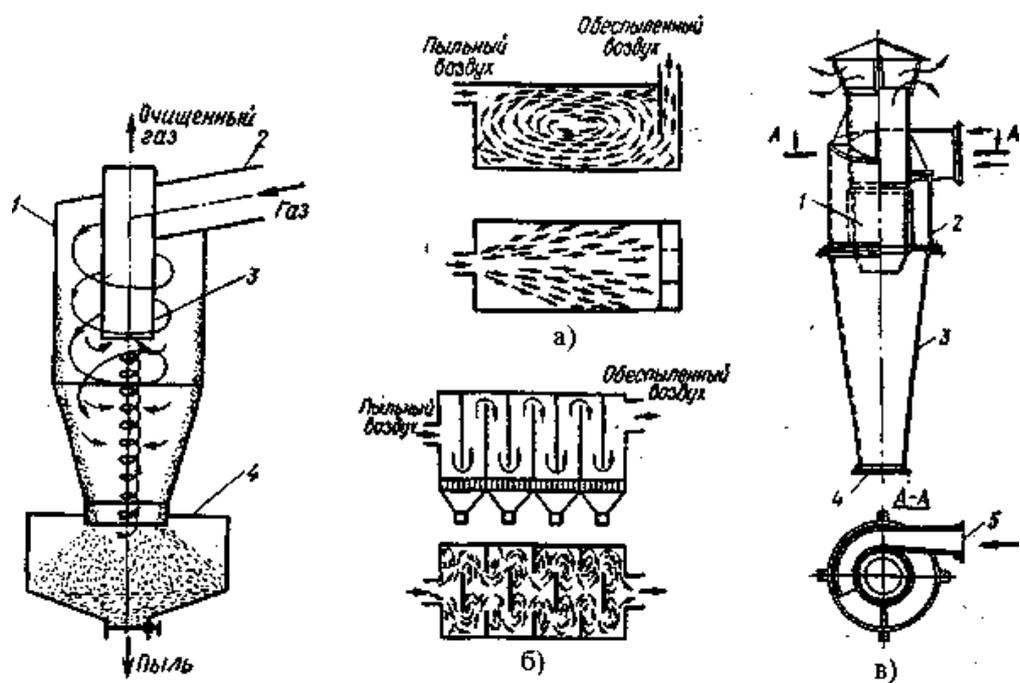
Промышленные выбросы, содержащие взвешенные твердые или жидкие частицы, представляют собой двухфазные системы. Сплошной фазой в системе являются газы, а дисперсной - твердые частицы или капельки жидкости. Системы очистки воздуха от пыли делятся на четыре основные группы: сухие и мокрые пылеуловители, а также электрофильтры и фильтры.

Сухие пылеуловители. К ним относятся такие, в которых очистка движущегося воздуха от пыли происходит механически под действием сил гравитации и инерции. Эти системы называются инерционными, так как в них при резком изменении направления движения газового потока частицы пыли, по инерции сохраняя направление своего движения, ударяются о поверхность, теряют свою энергию и под действием сил гравитации осаждаются в специальном бункере.

Для сухой очистки газов наиболее употребительны центробежные обеспыливающие системы (циклоны) (рисунок 5.1). Газовый поток, попадая во внутренний корпус циклона 1 через патрубок 2, совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса по направлению к бункеру 4. Под действием сил инерции частицы пыли осаждаются на стенках корпуса, а затем попадают в бункер. Очищенный газовый поток выходит из бункера через патрубок 3. Особенностью таких систем очистки является обязательная герметичность бункера, в противном случае из-за подсоса воздуха осаждаемые частицы пыли падают в выходную трубу.

На практике используют разные системы подачи и удаления воздуха и пылеосаждения. В зависимости от конструктивного исполнения различают циклоны:

- осевые, в корпусе которых входящие и выходящие потоки газа движутся вдоль его оси, при этом они могут двигаться в одном направлении (прямоточные) или в противоположных (противоточные);
- с тангенциальным входом, при этом входящий газ движется по касательной к окружности поперечного сечения корпуса аппарата и перпендикулярно к оси корпуса;
- с винтовым входом, при этом движение входящего потока газа приобретает винтовой характер с помощью тангенциального входного патрубка и верхней крышки с винтовой поверхностью;



Циклон

Пылеотделители

Рисунок 5.1. Аппараты пылеулавливания.

а — пылесадочная простая камера; *б* - пылесадочная лабиринтовая камера; *в* — центробежный пылеотделитель;
1, 2 — внутренний и наружный цилиндры; *3* — конус; *4, 5* — разгрузочное и впускное отверстия

- со спиральным входом, когда соединение выпускного патрубка с корпусом аппарата выполнено спиральным.

В общем случае частицы пыли выделяются в циклоне под действием центробежной силы в процессе вращения газового потока в корпусе аппарата. В промышленности используют циклоны, рассчитанные на скорость газового потока от 5 до 20 м/с. Эффективность их зависит от концентрации пыли и размеров ее частицы резко снижается при уменьшении этих показателей. Средняя эффективность обеспыливания газов в циклонах составляет 0,98 при размере частиц пыли 30...40 мкм, 0,8 - при 10 мкм, 0,6 – при 4...5 мкм. Производительность циклонов лежит в диапазоне от нескольких сот до десятков тысяч кубических метров в час. Преимущество циклонов - простота конструкции, небольшие размеры, отсутствие движущихся частей; недостатки - затраты энергии на вращение и большой абразивный износ частей аппарата пылью. Кроме циклонов, применяются и другие типы сухих пылеуловителей, например ротационные, вихревые, радиальные. При общих принципах действия они различаются системами пылеулавливания и способами подачи воздуха. К наиболее эффективным следует отнести ротационный пылеуловитель (рисунок 5.2). Основной его частью является вентиляционное колесо 1, при работе которого частицы пыли под действием центробежных сил отбрасываются к стенке кожуха 2 и, оседая на стенках, попадают в пылеприемник 3, а чистый воздух выходит через патрубок 4. Благодаря активному действию такие системы имеют эффективность 0,95...0,97.

очищенный
газ

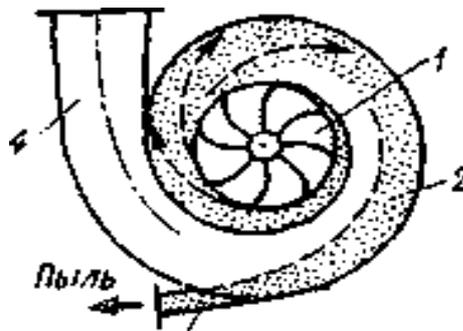


Рисунок 5.2: Пылеуловитель ротационного типа

Мокрые пылеуловители. Особенностью этих систем очистки является высокая эффективность очистки от мелкодисперсной пыли (менее 1,0 мкм). Эти системы обеспечивают возможность очистки от пыли горячих и взрывоопасных газов. Системы работают по принципу осаждения частиц пыли на поверхность капель (или пленки) жидкости под действием сил инерции и броуновского движения. Конструктивно мокрые пылеуловители разделяют на форсуночные скрубберы и скрубберы Вентури, а также аппараты ударно-инерционного и барботажного и других типов (рисунок 5.3). Скруббер - аппарат для промывки жидкостью газов в целях извлечения из них отдельных компонентов.

Наибольшее практическое применение находят скрубберы Вентури (рисунок 5.4), которые работают следующим образом. Через патрубок 4 газ подается в устройство 2, которое называется соплом Вентури. Сопло Вентури имеет конфузур (сужение), в который через форсунки 1 подается вода на орошение. В этой части сопла скорость газа увеличивается, достигая максимума в самом узком сечении (с 10...20 до 100...150 м/с). Увеличение скорости способствует осаждению частиц пыли на каплях воды.

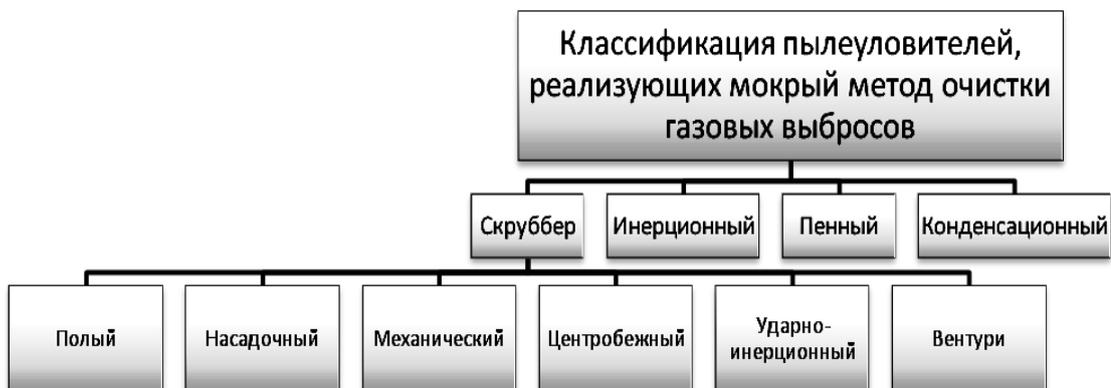


Рисунок 5.3. Классификация мокрых пылеуловителей

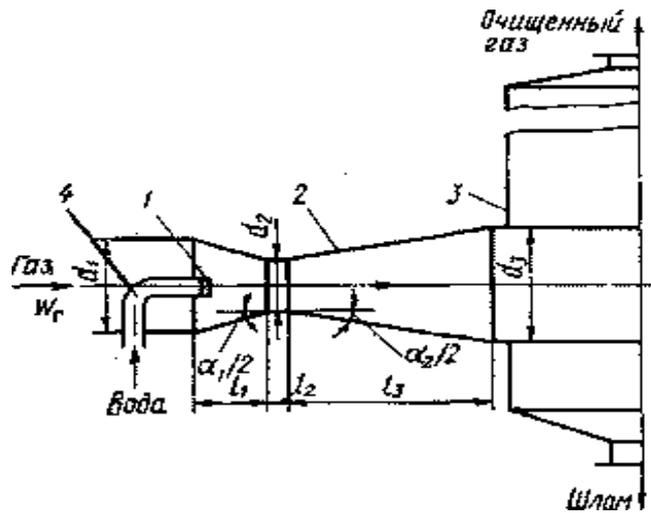


Рисунок 5.4 Скруббер Вентури

В диффузорной части сопла Вентури скорость потока мокрых газов уменьшается до 10...20 м/с. Этот поток подается в корпус 3, где под действием сил гравитации происходит осаждение загрязненных пылью капель. В верхнюю часть корпуса выходит очищенный газ, а в нижнюю попадает шлам.

Эффективность скрубберов Вентури 0,97...0,98. Расход воды составляет 0,4...0,6 л/м³.

Полый скруббер (рисунок 5.5 а) представляет собой колонну круглого сечения. В нее подается жидкость через систему форсунок, число которых может достигать 14...16 по сечению колонны. В насадочном скруббере (рисунок 5.5 б) используется система поперечного орошения с наклонно установленной насадкой. Эффективность таких систем достигает 0,9. Среди систем мокрой пылеочистки высокая эффективность отмечена в скрубберах ударно-инерционного действия (рисунок 5.6). В этих аппаратах контакт газов с жидкостью осуществляется при ударе газового потока о поверхность жидкости с последующим пропусканием газожидкостной взвеси через отверстия различной конфигурации или непосредственным отводом газожидкостной взвеси в сепаратор жидкой фазы. Один из вариантов такого скруббера состоит из цилиндрического кожуха 3, сливного конического бункера 9, корпуса 4 и выхлопной трубы 5 для вывода очищенного воздуха (газа).

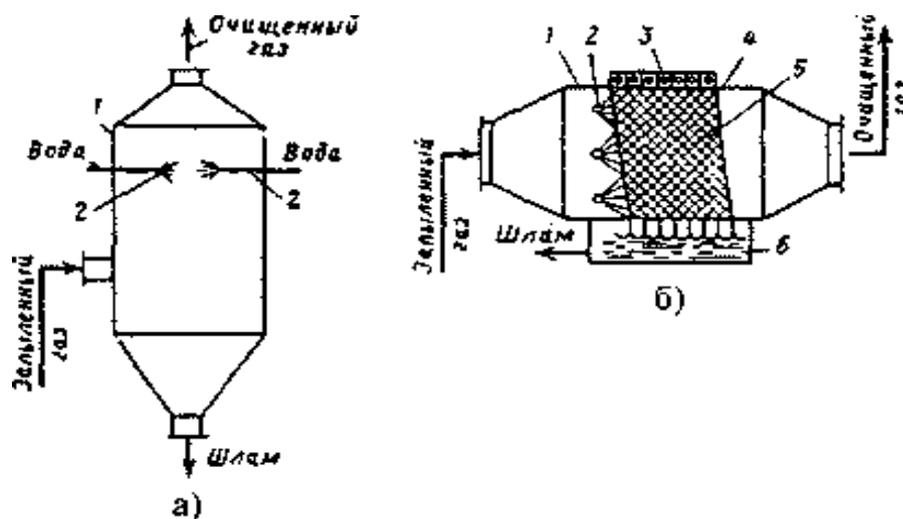


Рисунок 5.5. Скрубберы

а — полый форсуночный (1 — корпус; 2 — форсунки); б — насадочный с поперечным орошением (1 — корпус; 2 — форсунка; 3 — оросительное устройство; 4 — опорная решетка; 5 — насадка; 6 — шламоборник

Запыленный воздух поступает через воздуховод 6 в вертикальный стояк 7. Перед

поворотом на 180° воздух ударяется о поверхность воды А-А, вследствие чего сепарируются крупные частицы пыли. Далее воздух проходит через решетку 1 с отверстиями. На нее же через трубу 2 подается вода, излишки которой сливаются через трубу 8 и частично через отверстия решетки 1. Между решеткой и уровнем В-В образуется водяная пена, которая затем распространяется в объеме К, заполненном короткими фарфоровыми цилиндрами. Мелкие частицы пыли последовательно улавливаются в пене, а затем в объеме К.

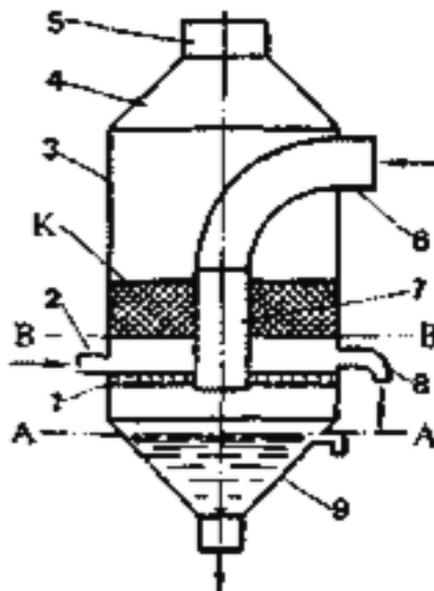


Рисунок 5.6. Скруббер ударно - инерционного действия

Фильтры. Широко используются для тонкой очистки промышленных выбросов. Работа их основана на фильтровании воздуха через пористую перегородку, в процессе которой твердые частицы примесей задерживаются на ней. В общем случае в корпусе 1 фильтра расположена воздухопроницаемая перегородка 2, на которой осаждаются улавливаемые частицы 3 (рисунок 5.7).

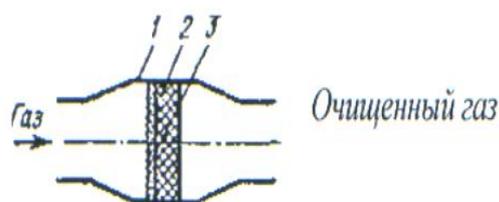


Рисунок 5.7 Схема процесса фильтрования

В фильтрах применяются перегородки различных типов:

- 1) в виде зернистых слоев, например гравия (неподвижные свободно насыпанные материалы);
- 2) гибкие пористые (ткани, войлоки, губчатая резина, пенополиуретан);
- 3) полужесткие пористые (вязаные сетки, прессованные спирали и стружка);
- 4) жесткие пористые (пористая керамика, пористые металлы).

Фильтры 1-го типа (из гравия) используются для очистки от пылей механического происхождения (дробилок, грохота, мельниц); они дешевы, просты в эксплуатации, эффективность 0,99. Фильтры 2-го типа широко используются для тонкой очистки газов от примесей; их основные недостатки - малая термостойкость, низкая прочность.

Фильтры 3-го типа, изготавливаемые из различных сталей, меди, бронзы, никеля и других металлов, могут работать в агрессивных средах.

Фильтры 4-го типа, изготавливаемые из пористой керамики и пористых металлов, обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью, жаростойкостью; они технологичны, находят широкое применение для очистки горючих газов и жидкостей, выбросов дыма, туманов, кислот, масел.

В промышленности наиболее употребительны тканевые рукавные фильтры (рисунок 5.8). В корпусе фильтра устанавливается необходимое число рукавов, на которые подается загрязненный воздух, при этом очищенный воздух выходит через патрубок. Частицы загрязнений оседают на фильтре. Насыщенные загрязненными частицами рукава продувают и встряхивают для удаления осажденных частиц пыли. Эффективность таких фильтров достигает 0,99 для частиц размером более 0,5 мкм.

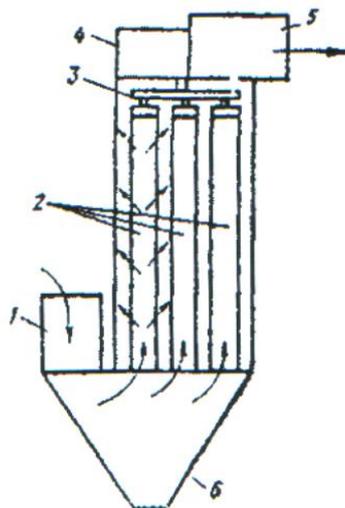


Рисунок 5.8 Схема рукавного фильтра:

1 — входной патрубок; 2 — рукав; 3 — подвеска рукавов; 4 — встряхивающий механизм; 5 — выходящий патрубок; 6 — бункер

5.2 Методика оценка эффективности улавливания выбросов

Для очистки воздуха от твердых взвешенных частиц на промышленных предприятиях широко используются циклоны. Циклон представляет собой цилиндрический резервуар с конусом внизу. Неочищенный воздух поступает внутрь цилиндра в его верхней части, где воздушный поток закручивается вокруг центральной трубы. Под действием центробежной силы твердые пылевые частицы ударяются о стенки, и, теряя свою энергию, падают в нижнюю половину конусообразной части циклона, где располагается пылесборник. Хотя воздушный (газовый) поток и теряет свою мощность, его давление остается постоянным за счет сужения поперечного сечения в нижней части циклона. Очищенный воздух по центральной трубе удаляется в атмосферу или поступает в другое устройство, предназначенное для более тонкой очистки.

Предположим, что для расчета циклона имеются следующие исходные данные:

- объем очищаемого газа $Q = 1,5 \text{ м}^3/\text{с}$;
- плотность газа при рабочих условиях $\rho = 1,7 \text{ кг/м}^3$;
- плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}} = 2000 \text{ кг/м}^3$;
- дисперсный состав пыли $d_M = 20 \text{ мкм}$ и $lg \delta = 0,8$;
- входная концентрация пыли $C_{\text{вх}} = 10 \text{ г/м}^3$;
- вязкость при рабочей температуре $\mu = 17,5 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Требуется рассчитать циклон для заданного источника выделения пыли с эффективностью очищения $\eta = 0,8$.

Расчет циклона проводится в следующем порядке.

3. Выбираем циклон (таблицу 5.1), для которого диаметр частиц пыли ориентировочно

$$d_m > 2 d_{50}^T \text{ (мкм)},$$

где d_m – медианный размер частиц, который представляет такой размер, при котором количество частиц крупнее d_m , равно количеству частиц мельче d_m .

2. По выбранному типу циклона, определяем оптимальную скорость движения газа ω_{on} в сечении циклона диаметром D с учетом данных таблицы 5.1.

$$\text{ЦН-24} \Rightarrow \omega_{on} = 4,5 \text{ м/с.}$$

3. Рассчитываем диаметр циклона D , м, по формуле

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi\omega_{on}}} \quad (5.1)$$

Полученное значение D округляем до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона. Если расчетный диаметр циклона превышает его максимально допустимое значение, то необходимо применять два или более параллельно установленных циклона.

Таблица 5.1 Характеристика циклонов

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15У	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
$\omega_{оп}$	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0
d_{50}^T	8,5	6,0	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$lg \delta_T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340
Значение ξ_{500}	75	155	155	245	520	1050	1050

$$D = \sqrt{4 \cdot 1,5 / 3,14 \cdot 4,5} = 0,652 \text{ м} = 655 \text{ мм}$$

Типовое значение внутренних диаметров D , мм: 200, 300, 400, 500, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000.

Ближайшее типовое значение внутреннего диаметра циклона $D=700$ мм. По диаметру циклона находим действительную скорость движения газа в циклоне по формуле

$$\omega = \frac{4 \cdot Q}{(\pi \cdot n \cdot D^2)}, \quad (5.2)$$

где n – число циклонов.

Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15%.

$$\omega = \frac{4 \cdot 1,5}{(3,14 \cdot 1 \cdot 0,7^2)} = 3,9 \text{ м/с}$$

4. Определяем коэффициент гидравлического сопротивления точного циклона

$$\xi = k_1 \cdot k_2 \cdot \xi_{500}$$

где k_1 – поправочный коэффициент, учитывающий диаметр циклона (таблица 5.2),

k_2 – поправочный коэффициент, учитывающий запыленность газа (таблица 5.3);

ξ_{500} – коэффициент гидравлического сопротивления циклона диаметром 500 мм (таблица 5.1).

$$\xi = 1,0 \cdot 0,95 \cdot 75 = 71,25$$

Таблица 5.2 Значения k_1

Тип циклона	Значения k_1 для D, мм				
	150	200	300	450	500 и >
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15У, ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,9	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34М	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 5.2 Значения k_2

Тип циклона	Значения k_2 при C_{ax} , г/м ³ .						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	-
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	0,915	0,91	0,90

5. Определяем значение гидравлического сопротивления циклона по формуле

$$\Delta P = P_{BX} - P_{ВЫХ} = 0,5 \cdot \xi \cdot \rho \cdot \omega^2 \quad (5.3)$$

где ρ - плотность газа в расчетном сечении аппарата;

ω - скорость газа в расчетном сечении аппарата.

$$\Delta P = 0,5 \cdot 71,25 \cdot 1,7 \cdot 3,9^2 = 921,15 \text{ Па}$$

6. Определяем эффективность очистки газов в циклоне по формуле

$$\eta = 0,5[1 + \Phi(X)], \quad (5.4)$$

$$\text{где } X = \lg\left(\frac{d_M}{d_{50}}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{\lg^2 \delta_T + \lg^2 \delta}}, \quad (5.5)$$

$$\Phi(X) = 0,3762 \cdot X + 0,5 \quad (0 \leq X \leq 0,6) \quad (5.6)$$

$$\Phi(X) = 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} \quad (X \geq 0,6) \quad (5.7)$$

Значения $\lg \delta_T$ берутся из таблицы 5.1. Значения d_{50}^T , приведенные в таблице 5.1, определены по условиям работы типового циклона, для которого справедливы следующие значения: $D_T=0,6\text{м}$; $\rho_{чТ}=1930\text{кг/м}^3$; $\mu_T=22,2 \cdot 10^{-6}\text{Па}\cdot\text{с}$; $\omega_T=3,5\text{м/с}$.

В случае отклонений условий работы циклона от типовых

$$d_{50} = d_{50}^T \sqrt{\left(\frac{D}{D_T}\right) \cdot \left(\frac{\rho_{чТ}}{\rho_{ч}}\right) \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_T}\right) \cdot \left(\frac{\omega_T}{\omega}\right)} \quad (5.8)$$

Полученное значение d_{50} должно быть меньше d_M (заданного). Если это не выполняется, необходимо выбрать другой циклон с меньшим значением d_{50}^T

$$X = \lg\left(\frac{20}{7,587}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{0,308^2 + 0,8^2}} = 0,491$$

$$\Phi(X) = 0,3762 \cdot 0,491 + 0,5 = 0,685$$

$$\eta = 0,5 \cdot [1 + 0,685] = 0,842$$

Если расчетное значение η окажется меньше значения, требуемого по условиям допустимого выброса пыли в атмосферу, то необходимо выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления. Концентрация пыли на выходе из циклона определяется по формуле

$$C_{\text{ВЫХ}} = C_{\text{ВХ}} \cdot (1 - \eta) \quad (5.9)$$

$$C_{\text{ВЫХ}} = 10 \cdot (1 - 0,842) = 1,6 \text{ г/м}^3.$$

Вопросы для самостоятельной подготовки

1. На какие группы делятся системы очистки воздуха от пыли?
2. Какой принцип работы заложен в сухих пылеуловителях?
3. Опишите конструкцию циклона.
4. Каким образом различают циклоны в зависимости от конструктивного исполнения?
5. В чем преимущества и недостатки циклонов?
6. Укажите виды мокрых пылеуловителей?
7. Опишите принцип работы мокрых пылеуловителей?
8. Опишите устройство и принцип работы фильтров? Типы фильтров.
9. Опишите основные характеристики известных циклонов.
10. Опишите методику оценки эффективности улавливания выбросов в атмосферу циклонами.

Варианты заданий

Рассчитать циклон для заданного источника выделения пыли с установленной эффективностью очищения

Исходные данные для выполнения задания

№ вар.	Наименование оборудования	Q	ρ	μ	d_M	$lg \delta$	C_{BX}	$\rho_{ч}$	η
1	Барабанная сушилка	10	1,29	17,3	15	0,360	10	1800	0,80
2	Барабанная сушилка	12	1,29	17,3	11	0,360	20	1800	0,80
3	Барабанная сушилка	8	1,29	17,3	20	0,352	10	2700	0,85
4	Клинкерно-обжиговая печь	16	1,29	17,3	9	0,497	20	2000	0,80
5	Шахтная мельница	0.1	1,29	17,3	56	0,97	100	2240	0,80
6	Крекинг установка	2	1,29	17,3	16	0,250	10	2600	0,85
7	Крекинг установка	10	1,29	17,3	14	0,250	20	2600	0,85
8	Крекинг установка	10	1,29	17,3	7	0,301	15	2600	0,85
9	Углесушильный барабан	5	1,29	17,3	15	0,334	50	1350	0,80
10	Шаровая мельница	1	1,29	17,3	6	0,468	20	2900	0,80