**Практическое занятие №1**

**Аппараты сухой механической очистки запыленных газов (выбросов). Расчет циклонов**

**Вводная часть**

Аппаратами сухой механической очистки запыленных газов (выбросов) являются пылеосадительные камеры, инерционные и ротационные пылеуловители, циклоны, вихревые пылеуловители, пористые фильтры.

Циклоны являются наиболее распространенными установками сухого пылеулавливания. Принцип работы – оседание частиц под воздействием центробежных сил и сил тяжести. При вводе (рис. 1.1) через тангенциальный патрубок 1 частицы отжимаются к внутренней стенке корпуса 3 и, теряя скорость, выпадают в бункер 4, откуда выводятся через выход 5. Очищенный газ выводится через выхлопную трубу 2. Центробежный эффект сильнее проявляется у крупных частиц, поэтому циклоны предназначены для грубой механической очистки выбросов от крупной и тяжелой пыли, например, для улавливания золы, образующейся при сжигании топлива в котлах тепловых станций.

Рис. 1.1. Циклон: 1 – патрубок тангенциальный входной; 2 – патрубок выходной; 3 -стенка; 4 – бункер; 5 – патрубок пылевыпускной

В промышленности используют циклоны, рассчитанные на скорость потока от 5 до 20 м/с. Эффективность циклонов, составляет 0,98 для частиц размеров 30-40 мкм; 0,8 для частиц размеров 10 мкм; 0,6 для частиц размеров 4-5 мкм. Производительность циклонов лежит в диапазоне от нескольких сот до десятков тысяч кубометров в час.

Преимуществом циклонов являются простота конструкции, отсутствие движущихся частей и небольшие размеры. Недостатками являются затраты энергии на вращение потока и абразивный износ частей аппарата пылью.

Для большей эффективности используют несколько циклонов небольшого диаметра, собранные в секции батареи – батарейные циклоны. Циклоны соединяются между собой подводящими патрубками и сборными камерами. Для нормальной работы циклона необходима герметичность бункера для исключения выноса пыли с потоком из-за подсоса наружного воздуха.

Конструктивно циклоны бывают цилиндрические и конические. Цилиндрические циклоны типа ЦН-15 (15- угол наклона входной патрубки: α=15°) изготавливаются из углеродистой или низколегированной стали. Они предназначены для предварительной очистки выбросов от пыли перед фильтрами и электрофильтрами. Конические циклоны типа СК предназначены для очистки выбросов от сажи, обладают повышенной эффективностью из-за большего гидравлического сопротивления. Бункеры циклонов имеют цилиндрическую форму диаметром 1,5 **D** для цилиндрических и 1,2 **D** для конических циклонов. Высота цилиндрической части бункера составляет 0,8 **D**.

Для расчета циклона необходимо иметь следующие исходные данные: объем очищаемого газа **Q**, м3/с; плотность газа при рабочих условиях **ρ**, кг/м3; вязкость при рабочей температуре **μ**, Па с; дисперсный состав пыли **d50**; входную концентрацию пыли **cвх**, г/м3; требуемую эффективность очистки **η**.

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

**Методика расчета**

1. Определяют оптимальную скорость движения газа **wопт** в зависимости от типа циклона (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Оптимальная скорость движения газа **wопт** в циклоне

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип циклона | ЦН-24 | ЦН-15 | ЦН-11 | СДК-ЦН-33 | СК-ЦН-34 | СК-ЦН-34м |
| wопт, м/с | 4,5 | 3,5 | 3,5 | 2,0 | 1,7 | 2,0 |

2. Рассчитывают диаметр циклона: $D=\sqrt{\frac{4Q}{πw\_{опт}}}$. (1.1)

Полученное значение необходимо округлить до ближайшего типового значения. В России принят следующий ряд внутреннего типового диаметра циклонов **D**, мм: 150; 200; 300; 400; 450; 500; 600; 700; 800; 900; 1000; 1200; 1400; 1600; 1800; 2000; 2400; 3000.

Если значение D превышает максимального типового значения, то необходимо применять два или более параллельно установленных циклонов.

3. Рассчитывают действительную скорость потока в циклоне:

w = 4Q / πND2 , (1.2)

где **N –** число циклонов; **w** не должно отклоняться от wопт более чем на 15%.

4. Рассчитывают коэффициент гидравлического сопротивления:

R = k1 k2 R500 , (1.3)

где k1 и k2 – коэффициенты, зависящие от D, свх и типа циклона (табл. 1.2 и 1.3);

R500 – коэффициент гидравлического сопротивления при D=500 мм (табл. 1.4).

5. Рассчитывают значение гидравлического сопротивления:

ΔP = Pвх – Pвых =1/2 Rρгw2. (1.4)

6. Определяют эффективность очистки: η = 0,5 (1+Ф(*x*)), (1.5)

где Ф(x) – табличная (табл. 1.5) функция параметра x: $x=0,8×lg\left(\frac{d\_{50}}{d\_{т50}}\right)$ (1.6)

Таблица 1.2

Значения k1 при различных D и типов циклонов

|  |  |
| --- | --- |
| Тип циклона | D, мм |
| 150 | 200 | 300 | 450 | >500 |
| ЦН-11 | 0,94 | 0,95 | 0,96 | 0,99 | 1,0 |
| ЦН-15, ЦН-24 | 0,85 | 0,90 | 0,93 | 1,0 | 1,0 |
| СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34 и 34м | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 |

Таблица 1.3

Значения k2 при различных свх и типов циклонов

|  |  |
| --- | --- |
| Тип циклона | свх, г/м3 |
| 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-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 | - | - | - |

Таблица 1.4

Значения R500 в зависимости от типов циклонов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип циклона | Выхлоп в: | Тип циклона | Выхлоп в: |
| атмосферу | гидр. сеть | атмосферу | гидр. сеть |
| ЦН-11 | 245 | 250 | СДК-ЦН-33 | 520 | 600 |
| ЦН-15 | 155 | 163 | СК-ЦН-34 | 1050 | 1150 |
| ЦН-24 | 75 | 80 | СК-ЦН-34м | - | 2000 |

Таблица 1.5

Значения функции Ф(x) в зависимости от параметра x

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| х | -2,7 | -2,0 | -1,6 | -1,4 | -1,2 | -1,0 | -0,8 | -0,6 | -0,2 |
| Ф(х) | 0,004 | 0,023 | 0,055 | 0,081 | 0,115 | 0,159 | 0,212 | 0,274 | 0,421 |
| х | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1,2 | 1,6 | 1,8 | 2,7 |
| Ф(х) | 0,5 | 0,579 | 0,655 | 0,726 | 0,788 | 0,885 | 0,964 | 0,964 | 0,997 |

Значение d50 определяется по формуле: $d\_{50}=d\_{т50}\sqrt{\frac{D}{D\_{т}}\frac{ρ\_{чт}}{ρ\_{ч}}\frac{μ}{μ\_{т}}\frac{w\_{т}}{w}}$, (1.7)

где: ρч – плотность частиц; μ – вязкость, w – скорость потока; Dт = 600 мм; ρчт= 1930 кг/м3; μт = 22,2×10-6 Па×с; wт = 3,5 м/с (индекс т означает типовое значение параметра); значение dт50 приведено в табл. 1.6.

Таблица 1.6

Значения параметра dт50 в зависимости от типа циклона

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тип | ЦН-11 | ЦН-15 | ЦН-24 | СДК-ЦН-33 | СК-ЦН-34 | СК-ЦН-34м |
| dт50 | 8,5 | 4,5 | 3,65 | 2,31 | 1,95 | 1,3 |

7. Осуществляют выбор циклона. Если расчетное η меньше требуемого, то необходимо выбрать другой циклон с большим гидравлическим сопротивлением R. Можно пользоваться формулой:

$\frac{R\_{1}}{R\_{2}}=\left(\frac{1-η\_{1}}{1-η\_{2}}\right)^{2}\frac{w\_{1}}{w\_{2}}\frac{D\_{1}}{D\_{2}}$ (1.8)

где индексы 1 и 2 соответствуют двум различным циклонам.

8. Рассчитывают конструкционные размеры циклона в мм (рис. 1.2, табл. 1.7) в соответствии с диаметром D (в мм) выбранного циклона:

y = k×D, (1.9)

где y – конкретный параметр циклона (диаметр d, ширина b, высота Н и т.д.); k – коэффициент пропорциональности (табл. 1.7).

9. Радиус улитки рассчитывается по формуле:

ρ = D/2 + bφ/2π, (1.10)

где b – ширина входного патрубка; φ = 135° = 2,35 рад.

Таблица 1.7

Значения коэффициента пропорциональности k в зависимости от типа циклона

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр, у | Циклон |
| ЦН-11 | ЦН-15 | ЦН-24 | СДК-ЦН-33 | СК-ЦН-34 | СК-ЦН-34м |
| Диаметр выхлопной трубы d | 0,59 | 0,334 | 0,34 | 0,22 |
| Диаметр пылевыпускного отверстия d1 | 0,3-0,4 | 0,334 | 0,23 | 0,18 |
| Ширина входного патрубка b | 0,2 | 0,264 | 0,214 | 0,18 |
| Длина входного патрубка l | 0,6 |
| Высота входного патрубка a | 0,48 | 0,66 | 1,11 | 0,535 | 0,515 | 0,4 |
| Высота выхлопной трубы hт | 1,56 | 1,74 | 2,11 | 0,535 | 0,515 | 0,4 |
| Высота внешней части выхлопной трубы hв | 0,3 | 0,4 | 0,2-0,3 |
| Высота цилиндрической части Hц | 2,06 | 2,11 | 0,535 | 0,515 | 0,4 |
| Высота конуса Hк | 2,0 | 1,75 | 3,0 | 2,11 | 2,6 |
| Высота установки фланца hфл | 0,1 |
| Общая высота циклона H | 4,38 | 4,56 | 4,26 | 3,835 | 2,925 | 3,3 |

10. Начертить схему циклона (в зависимости от типа, рис. 1.2) с конструкционными размерами (в мм).



Рис. 1.2. Схема циклонов:

а) цилиндрический; б) конический в) вид сверху (улитка)

Таблица 1.8

Исходные данные (варианты)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Тип | Q, м3/с | cвх, г/м3 | ρг,кг/м3 | ρч,кг/м3 | μ\*10-6, Па\*с | η |
| 1 | ЦН-11 | 10 | 40 | 1,34 | 1930 | 22,2 | 0,95 |
| 2 | ЦН-11 | 11 | 120 | 1,35 | 2230 | 22,1 | 0,65 |
| 3 | ЦН-15 | 12 | 80 | 1,36 | 1650 | 22,0 | 0,75 |
| 4 | ЦН-15 | 13 | 10 | 1,37 | 1700 | 21,9 | 0,95 |
| 5 | ЦН-24 | 14 | 20 | 1,38 | 1750 | 21,8 | 0,90 |
| 6 | ЦН-24 | 15 | 40 | 1,39 | 1900 | 21,7 | 0,85 |
| 7 | СДК-ЦН-33 | 8 | 150 | 1,33 | 2130 | 21,6 | 0,65 |
| 8 | СК-ЦН-34 | 5 | 80 | 1,32 | 2050 | 21,5 | 0,75 |
| 9 | СК-ЦН-34м | 1 | 40 | 1,31 | 2100 | 21,4 | 0,75 |
| 10 | ЦН-11 | 10 | 40 | 1,34 | 1930 | 22,2 | 0,95 |
| 11 | ЦН-11 | 11 | 120 | 1,35 | 2230 | 22,1 | 0,65 |
| 12 | ЦН-15 | 12 | 80 | 1,36 | 1650 | 22,0 | 0,75 |
| 13 | ЦН-15 | 13 | 10 | 1,37 | 1700 | 21,9 | 0,95 |
| 14 | ЦН-24 | 14 | 20 | 1,38 | 1750 | 21,8 | 0,90 |
| 15 | ЦН-24 | 15 | 40 | 1,39 | 1900 | 21,7 | 0,85 |
| 16 | СДК-ЦН-33 | 8 | 150 | 1,33 | 2130 | 21,6 | 0,65 |
| 17 | СК-ЦН-34 | 5 | 80 | 1,32 | 2050 | 21,5 | 0,75 |
| 18 | СК-ЦН-34м | 1 | 40 | 1,31 | 2100 | 21,4 | 0,75 |
| 19 | ЦН-11 | 10 | 40 | 1,34 | 1930 | 22,2 | 0,95 |
| 20 | ЦН-11 | 11 | 120 | 1,35 | 2230 | 22,1 | 0,65 |
| 21 | ЦН-15 | 12 | 80 | 1,36 | 1650 | 22,0 | 0,75 |
| 22 | ЦН-15 | 13 | 10 | 1,37 | 1700 | 21,9 | 0,95 |
| 23 | ЦН-24 | 14 | 20 | 1,38 | 1750 | 21,8 | 0,90 |
| 24 | ЦН-24 | 15 | 40 | 1,39 | 1900 | 21,7 | 0,85 |
| 25 | СДК-ЦН-33 | 8 | 150 | 1,33 | 2130 | 21,6 | 0,65 |

**Контрольные вопросы**

1. Классификация сухих механических пылеуловителей.

2. Принцип работы циклонов.

3. Групповые и батарейные циклоны.

4. Основные параметры циклонов.

5. Преимущества и недостатки циклонов.