



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого»

Кафедра «Металлургия и литейное производство»

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

ПРАКТИКУМ

**по одноименному курсу для студентов
специальности 1-42 01 01 «Металлургическое
производство и материалобработка»
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2015

УДК 502.3:621.74:669(075.8)
ББК 20.18:34.3я73
О-86

*Рекомендовано научно-методическим советом
механико-технологического факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 6 от 24.06.2014 г.)*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Технология машиностроения»
ГГТУ им. П. О. Сухого *Г. В. Петришин*

Отраслевая экология : практикум по одноим. курсу для студентов специальности
О-86 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобработка» днев. и заоч. форм
обучения / сост. Л. Н. Русая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2015. – 39 с. – Систем. тре-
бования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ;
Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <https://elib.gstu.by>. – Загл.
с титул. экрана.

Рассмотрены вопросы в области защиты окружающей среды от выбросов металлургических
предприятий инженерными методами.

Для студентов специальности 1-42 01 01 «Металлургическое производство и материалобра-
ботка» дневной и заочной форм обучения.

УДК 502.3:621.74:669(075.8)
ББК 20.18:34.3я73

© Учреждение образования «Гомельский
государственный технический университет
имени П. О. Сухого», 2015

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ПО СОСТАВУ СЖИГАЕМОГО ТОПЛИВА

Цель работы: ознакомление с типами топлив, составом их выбросов в атмосферу при сжигании, с методикой расчета количества дымовых газов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Основными источниками загрязнения атмосферного воздуха являются автомобили, промышленные предприятия и тепловые электростанции. Ежегодно в воздух предприятиями черной и цветной металлургии, промышленности строительных материалов выбрасывается более 250 млн т мелкодисперсной пыли. Загрязнение атмосферы оказывает неблагоприятное воздействие на человека, флору и фауну, различные сооружения и транспортные средства и др.

Наибольшее загрязнение атмосферного воздуха поступает от установок, работающих на углеводородном топливе (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, уголь, природный газ и другие). Количество загрязнения определяется составом, объемом сжигаемого топлива и организацией процесса сгорания. Основные компоненты топлив: C (углерод), H_2 (водород), A (зола), W (влажность).

1. **Твердое топливо** (уголь, горючие сланцы, антрацитовый штыб, торф, бурый уголь, древесина). Характерные выбросы: CO , SO_2 , летучая зола (содержит: сажу C , оксиды SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , MnO , CaO).
2. **Жидкое топливо** (нефть и продукты её переработки – бензин, масло, мазут, керосин и т.д.). Характерные выбросы: CO , SO_2 , углеводороды, аэрозоли, летучая зола.
3. **Газообразное топливо** (природный газ - метан CH_4 , ацетилен, сопутствующие газы: ваграночный газ, коксовый газ, доменный газ). Основные выбросы: CO , NO_x .

Состав дымовых газов рассчитывают исходя из реакций сгорания составных частей топлива.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет ведется по следующей методике:

1. Определяем количество воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива :

$$L_0 = \frac{(2,67 \cdot C + 8 \cdot H + S - O)}{0,23 \cdot 100}, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}, \quad (1)$$

2. Определяем объем воздуха, необходимого для сжигания 1 кг топлива:

$$V_0 = \frac{L_0}{1,293}, \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}, \quad (2)$$

3. Определяем мольное содержание продуктов сгорания 1 кг топлива:

$$N_{\text{RO}_2} = \frac{C}{100 \cdot 12} + \frac{S}{100 \cdot 32}, \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}, \quad (3)$$

$$N_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{H}{100 \cdot 2} + \frac{G_{\text{фп}}}{18}, \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}, \quad (4)$$

$G_{\text{фп}}$ – вес форсуночного пара.

4. Определяем коэффициент избытка воздуха:

$$L_{\text{п}} = \alpha \cdot L_0, \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{N_2}{(N_2 - 3,762 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO))}, \quad (6)$$

5. Определяем мольное содержание двухатомных газов при найденном коэффициенте избытка воздуха:

$$N_{\text{N}_2+\text{O}_2} = \frac{V_0 \cdot (\alpha - 0,21)}{22,4}, \text{кг} \cdot \text{моль}, \quad (7)$$

6. Определяем сумму всех мольных содержаний:

$$\sum N = N_{\text{RO}_2} + N_{\text{H}_2\text{O}} + N_{\text{N}_2+\text{O}_2}, \quad (8)$$

7. Определяем количество продуктов сгорания:

$$G = (\alpha \cdot L_0 + 1) \cdot B, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}, \quad (9)$$

- B – количество тепла (940 кГ/ч),
8. Определяем объем дымовых газов:

$$N = \frac{G \cdot \sum N \cdot 22,4}{(2 \cdot L_0 + 1)}$$

Пример расчета:

Определить количество, образующихся дымовых газов при сжигании 940кг\ч мазута следующего состава (массовые): C - 85%; H_2 - 13%; S - 0,45%; O_2 - 1,55%. При сжигании добавляются 0,5 кг пара на 1 кг топлива, для подавления оксидов азота.

При анализе на газоанализаторе дымовые газы имеют следующий состав (объемы): O_2 - 6%; CO - 0,5%; N_2 - 84,5%.

$$1. L_0 = \frac{(2,67 \cdot C + 8 \cdot H + S - O)}{0,23 \cdot 100} = \frac{(2,67 \cdot 85 + 8 \cdot 13 + 0,45 - 1,55)}{0,23 \cdot 100} = 14,3 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$$

$$2. V_0 = \frac{L_0}{1,293} = \frac{14,3}{1,293} = 11,06 \frac{\text{м}^3}{\text{кг}}$$

$$3. N_{RO_2} = \frac{C}{100 \cdot 12} + \frac{S}{100 \cdot 32} = \frac{85}{100 \cdot 12} + \frac{0,45}{100 \cdot 32} = 0,071 \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}$$

$$N_{H_2O} = \frac{H}{100 \cdot 2} + \frac{G_{\text{фп}}}{18} = \frac{13}{100 \cdot 2} + \frac{0,5}{18} = 0,093 \frac{\text{кг} \cdot \text{моль}}{\text{кг}}$$

$$4. L_{\text{п}} = \alpha \cdot L_0 = 1,34 \cdot 14,3 = 19,162$$

$$\alpha = \frac{N_2}{(N_2 - 3,762 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO))} = \frac{84,5}{(84,5 - 3,762 \cdot (6 - 0,5 \cdot 0,5))} = 1,34$$

$$5. N_{N_2+O_2} = \frac{V_0 \cdot (\alpha - 0,21)}{22,4} = \frac{11,06 \cdot (1,34 - 0,21)}{22,4} = 0,56 \text{кг} \cdot \text{моль}$$

$$6. \sum N = N_{RO_2} + N_{H_2O} + N_{N_2+O_2} = 0,071 + 0,093 + 0,56 = 0,724$$

$$7. G = (\alpha \cdot L_0 + 1) \cdot B = (1,34 \cdot 14,3 + 1) \cdot 940 = 18952,3 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

$$8. N = \frac{G \cdot \sum N \cdot 22,4}{(2 \cdot L_0 + 1)} = \frac{18952,3 \cdot 0,724 \cdot 22,4}{(2 \cdot 14,3 + 1)} = 10562,2$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ТРАНСПОРТА И РАСЧЕТ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НАЛОГА

Цель работы: ознакомление с методикой определения выбросов, определение экологического налога.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Количество выбросов от транспорта составляет 70% всех выбросов в атмосферу. Выбросы содержат более 40 различных компонентов. Основные – это угарный газ (CO), оксид серы (SO_2), оксиды азота (NO_x), углеводороды, бенз(а)пирен ($C_{20}H_{12}$), твердые вещества (сажа). Количество вредных веществ, поступающих в атмосферу в составе отработавших газов, зависит от общего технического состояния автомобилей и, особенно, от двигателя – источника наибольшего загрязнения. Так, при нарушении регулировки карбюратора выбросы оксида углерода увеличиваются в 4...5 раза. Применение этилированного бензина, имеющего в своем составе соединения свинца, вызывает загрязнение атмосферного воздуха весьма токсичными соединениями свинца. Около 70 % свинца, добавленного к бензину с этиловой жидкостью, попадает в виде соединений в атмосферу с отработавшими газами, из них 30 % оседает на земле сразу за срезом выпускной трубы автомобиля, 40 % остается в атмосфере. Один грузовой автомобиль средней грузоподъемности выделяет 2,5...3 кг свинца в год. Концентрация свинца в воздухе зависит от содержания свинца в бензине.

Экологический налог, представляет собой плату субъектов хозяйствования за вредное воздействие на окружающую среду, которое они оказывают при осуществлении хозяйственной деятельности, и призван стимулировать природопользователей на сокращение вредного воздействия на окружающую среду.

1. Количество выбросов от транспорта:

$$B = E \cdot P, \frac{m}{год} \quad (1)$$

где E – коэффициент эмиссии, значение которого для различных видов топлив представлено в таблице.

Коэффициент эмиссии

| Наименование | Бензин | Дизель | Сжатый газ |
|----------------|----------------------|----------------------|------------|
| CO | 0.44 | 0.125 | 0.22 |
| SO_2 | 0.002 | 0.02 | - |
| NO_x | 0.025 | 0.035 | 0.025 |
| C_nH_m | 0.08 | 0.055 | 0.05 |
| сажа | 0.0006 | 0.015 | - |
| $C_{20}H_{12}$ | $0.23 \cdot 10^{-6}$ | $0.31 \cdot 10^{-6}$ | - |

P – расход топлива.

2. Расход топлива:

$$P = \frac{k \cdot L \cdot n}{100}, \text{ м}^3 \quad (2)$$

где L – общий пробег, млн.км

k – бензин (0,9); дизель (0,8); газообразное (0,3)

n – линейная форма расхода, л/100км

3. Налог на выброс:

$$H = B \cdot C, \frac{\text{т} \cdot \text{руб}}{\text{г}} \quad (3)$$

где C – ставка налога (зависит от класса опасности):

CO – 4 класс опасности;

SO_2 и NO_x – 2 класс опасности;

Сажа – 3 класс опасности.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Результаты расчетов сводятся в таблицу:

| Группа транспорта | Количество, шт | Общий пробег L , тыс. км. | Общий расход топлива P , м ³ | Выброс вредных веществ по ингредиентам, м/год | | | | | Годовой валовый выброс, мт/год |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------------|----------|--------|--------|------------------------|--------------------------------|
| | | | | CO | C_nH_m | SO_2 | NO_x | Сажа, твердые вещества | |
| 1. Грузовые и специальные, работающие на: | | | | | | | | | |
| Бензин (42л\100км) | 3 | 120 | 45,86 | 20,1 | 3,67 | 0,09 | 1,15 | 0,03 | 25,12 |
| Диз.топливо (24л) | 2 | 80 | 15,36 | 1,92 | 0,84 | 0,31 | 0,54 | 0,23 | 3,84 |
| Сжато газе (22,7л) | 1 | 55 | 3,75 | 0,83 | 0,19 | - | 0,09 | - | 1,11 |
| 2. Автобусы, работающие на: | | | | | | | | | |
| Бензин (40л\100км) | 2 | 270 | 97,2 | 42,7 | 7,78 | 0,19 | 2,43 | 0,06 | 53,23 |
| Диз.топливо (28л) | 1 | 78 | 17,47 | 2,18 | 0,96 | 0,35 | 0,61 | 0,26 | 4,36 |
| 3. Легковые автомобили, работающие на: | | | | | | | | | |
| Бензин (13л\100км) | 2 | 153 | 17,9 | 7,88 | 1,43 | 0,04 | 0,45 | 0,01 | 9,81 |
| 4. Тракторы и другие виды сельскохозяйственных машин, строительный транспорт | | | | | | | | | |
| Диз.топливо (7л\1час) | 2 | 12,320 | 25,87 | 3,23 | 1,42 | 0,52 | 0,91 | 0,39 | 6,47 |
| | | | | 78,9 | 16,29 | 1,5 | 6,18 | 0,98 | 103,94 |

Производятся расчеты экологического налога на выбросы:

CO :

$$H = 97104,3 \cdot 109440 = 1,063 \cdot 10^{10} = 1,063 \text{ млрд. руб.}$$

$$H = 21888,2 \cdot 109440 = 0,24 \cdot 10^{10} = 0,24 \text{ млрд. руб.}$$

SO_2 :

$$H = 2902,2 \cdot 666200 = 0,19 \cdot 10^{10} = 0,19 \text{ млрд. руб.}$$

NO_x :

$$H = 9223,9 \cdot 666200 = 0,62 \cdot 10^{10} = 0,62 \text{ млрд. руб.}$$

Сажа:

$$H = 2016,2 \cdot 220240 = 0,04 \cdot 10^{10} = 0,04 \text{ млрд. руб.}$$

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №3

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЛАВКЕ И ЗАЛИВКЕ МЕТАЛЛОВ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета выбросов загрязняющих веществ при плавке и заливке металлов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Применяемые в литейном производстве плавильные агрегаты являются источниками значительного количества загрязняющих выбросов в атмосферу. Заодно с технологическими газами из них выбрасывается пыль, оксиды серы, цианиды. Количество этих выбросов зависит от применяемого сырья, технологических режимов плавки, используемых модификаторов и способа отвода газов от печей.

Выбросы вредных веществ в атмосферу от оборудования литейных цехов составляют 60–70 % от валовых выбросов всего технологического оборудования машиностроительных заводов. При этом значительная доля пылевых и газовых выделений приходится на основное оборудование плавильных отделений литейных цехов. Из общего количества выбросов плавильные агрегаты составляют до 60 % пыли, до 80 % оксида углерода, до 90 % оксидов азота и серы.

Сравнение объемов выбросов вредных веществ из расчета на тонну отливок показывает, что наибольшее количество веществ выделяется при производстве чугуна в вагранках. Вагранки при производстве 1 т чугуна в среднем выделяют до 20 кг пыли, до 200 кг оксида углерода, до 1,5 кг оксидов серы, до 1 кг углеводородов и до 0,1 оксидов азота.

Основными источниками выброса оксида углерода в литейных цехах являются вагранки, на долю которых приходится более 90 % выбросов плавильно-заливочных отделений. Следует отметить, что на долю этих же отделений приходится около 70 % выбросов оксида углерода от всех источников литейных цехов. При этом характер производства цеха практически не оказывает влияния, влияет только тип используемых плавильных агрегатов. Также значительное количество выброса оксида углерода приходится на заливочные конвейеры и охладительные кожуха (46 %), а также на выбросы через

светоаэрационные фонари (31 %).

Источниками выбросов диоксидов азота и серы в литейных цехах в основном являются плавильные агрегаты, заливочные конвейеры и охладительные кожуха. На долю плавильно-заливочных отделений приходится более 70 % выбрасываемых в атмосферу диоксида азота и 95 % диоксида серы.

Выбросы фенола, формальдегида, фурфурола, фурилового и метилового спирта и других веществ приходятся в основном на участки изготовления стержней (85–100 %). Основными источниками указанных выделений являются стержневые автоматы по нагреваемой оснастке. Незначительные количества этих веществ отмечаются в выбросах заливочных, выбивных и смесеприготовительных участков. Этот факт также необходимо иметь в виду при разработке мероприятий по снижению выбросов данных веществ.

Оценка долевого участия литейных цехов в загрязнении атмосферы показала, что они составляют по пыли 80–90 %, оксиду углерода 60–70 %, диоксиду серы 90–95 %, фенолу, формальдегиду, фурфуролу и др. 95–100 %.

Приведем таблицу распределения выбросов вредных веществ в атмосферу по литейным цехам с различным характером производства

Распределение выбросов вредных веществ в атмосферу по литейным цехам с различным характером производства

| Вредные вещества | Валовые выбросы, % от цехов с характером производства | | |
|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------|---------------|
| | Массовым | Серийным | Мелкосерийным |
| Пыль | 10,4 | 8,4 | 5,1 |
| Оксид углерода | 75,2 | 84,0 | 91,1 |
| Диоксид азота | 0,84 | 0,6 | 0,5 |
| Диоксид серы | 0,78 | 1,3 | 1,5 |
| Фенол, формальдегиды, фурфурол, аммиак, метанол | 0,76 | 0,6 | 0,2 |
| Толуол, бутанол и др. | 12,02 | 5,1 | 0,8 |

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Валовый выброс загрязняющих веществ (Q_B , т/год) при плавке и заливке металлов определяется по формуле:

$$Q_B = 10^{-3} \cdot q \cdot P \cdot (1 - n), \quad (1)$$

где q — удельное выделение вещества на единицу продукции, кг/т, (таблицы В.1-В.7 РД);

P — годовая программа выпуска металла, т/год;

n — степень очистки загрязняющих веществ, в долях от единицы.

Максимальный выброс загрязняющих веществ (Q_M , г/с) при плавке и заливке металла определяется по формуле:

$$Q_M = 10^{-3} \cdot q \cdot (1 - n), \quad (2)$$

где q — удельное часовое выделение вещества, кг/час, (таблица В. 1-В.7);

n — степень очистки загрязняющих веществ, в долях от единицы.

ПРИМЕЧАНИЕ:

Кроме того, в процессе выпуска 1 тонны чугуна из вагранок в ковши в атмосферу цеха выделяется 130,0 г оксида углерода и 22,0 г графитовой пыли, удаляемых через фонарные проемы или через системы общеобменной вентиляции.

По заданию преподавателя рассчитываются выбросы CO , NO_x , SO_2 .

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4

РАСЧЕТ КОЛИЧЕСТВА ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПРИ ПЛАВКЕ СТАЛИ В ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПЕЧАХ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета выбросов загрязняющих веществ при плавке стали в электродуговых печах.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Выход технологических газов из электрических сталеплавильных печей, в частности дуговых, определяется содержанием углерода в шихте и электродах, а также разгаром непрореагировавшей части известняка и подсосом атмосферного воздуха в печь. Электродуговые печи с емкостью от 3 до 20 т на 1т выплавляемого металла выделяют в среднем около 10 кг пыли, до 80 кг оксида углерода, до 0,6 кг оксидов азота, до 0,06 кг углеводородов. Мелкодисперсная пыль, образующаяся в результате испарения металла в районе действия электрической дуги, взаимодействуя с кислородом и азотом печного пространства, создает группу вредных выбросов в атмосферу. Эти выбросы достигают своих максимальных концентраций в период кипения металла. В данный период происходит наиболее активное взаимодействие кислородных потоков с расплавленным металлом.

Во время доводки количество выбросов снижается до минимума. Степень запыленности газов, выходящих из плавильного агрегата, зависит также от интенсивности подсоса воздуха в рабочее пространство. Удельные выбросы пыли из рабочего пространства дуговой электропечи представлены в таблице:

Удельные выбросы пыли из рабочего пространства дуговой электропечи

| Емкость печи, т | Удельные выбросы технологических газов, $\frac{м^3}{т}$ | Запыленность газов, $\frac{г}{м^3}$ | Удельный выброс пыли, кг/г |
|-----------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| 5 | 100 | 27 | 9,4 |
| 10 | 100 | 22 | 8,8 |
| 20 | 100 | 18 | 8,1 |

При выплавке стали на грязном, окисленном и малогабаритном скрапе количество пылевых выбросов может вырасти в 2 раза. Дисперсный состав пыли электросталеплавильных печей зависит от химического состава сплава, состава шлака, периода плавки, технологического режима плавки и условия конденсации паров.

Примерный состав пылегазовых выбросов при плавке в электродуговых печах приведем в таблице:

Состав пылегазовых выбросов при плавке в электродуговых печах

| Период плавки | Количество частиц (% по массе) при диаметре частиц, мкм | | | |
|---------------|---------------------------------------------------------|---------|----------|------------|
| | До 0,7 | 0,7–7,0 | 7,0–80,0 | более 80,0 |
| Расплавление | 48 | 30 | 16 | 6 |
| Кипение | 42 | 35 | 16 | 7 |
| Доводка | 44 | 31 | 13 | 12 |

Пыль, выбрасываемая электросталеплавильными агрегатами, состоит в основном из оксидов железа. В период расплавления сумма оксидов железа составляет около 80 %, в период кипения – до 62 %, в период доводки – 53 %. В период расплавления в составе пыли появляются оксиды марганца (11 %), а в период доводки – оксиды кальция (6 %) и магния (9 %). Высокая температура в зоне действия электрической дуги вызывает активное образование оксидов углерода и ряда других веществ. В их число входят азот, сера, цианиды, фториды, выбрасываемые из печного пространства вместе с отходящими технологическими газами. Концентрация оксидов азота и цианидов зависит от количества, подсасываемого с воздухом азота, мощности электрической дуги и степени диссоциации молекулярного азота в рабочем пространстве печи. Количество оксидов серы в металле зависит от содержания ее в шлаке. Содержание вредных газообразных веществ в технологических парах при проведении процесса электроплавки приведено в таблице:

| Вредные вещества | Средняя концентрация, г/м ³ | Удельные выбросы, г/т |
|------------------|----------------------------------------|-----------------------|
| Оксид углерода | 13500 | 1350 |
| Оксиды азота | 550 | 270 |
| Оксид серы | 5 | 2 |
| Цианиды | 60 | 27 |
| Фториды | 1,2 | 0,6 |

Следует отметить, что концентрация фторидов в технологических газах пропорциональна содержанию плавикового шпата в шлаке.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Валовый выброс загрязняющих веществ (Q_B , т/год) при плавке стали в электродуговых печах определяется по формуле:

$$Q_B = 10^{-3} \cdot q \cdot P \cdot b \cdot (1 - n), \quad (1)$$

где q — удельное выделение вещества на единицу продукции, кг/т;

P — годовая программа выпуска металла, т/год;

n — степень очистки загрязняющих веществ, в долях от единицы;

b — поправочный коэффициент, учитывающий условия плавки:

Значения коэффициента b

| Условия плавки | Коэффициент b |
|---------------------------|-----------------|
| Кислый процесс | 1,0 |
| Основной процесс | 0,8 |
| Применение кислорода | 1,15 |
| Плавка легированной стали | 0,85 |

- При плавке стали в электродуговых печах следует учесть:
- кроме указанных в таблице, в газах присутствуют: оксид серы - 5 мг/м^3 (1,6 г/т); цианиды - $60,0 \text{ мг/м}^3$ (28,4 г/т); фториды - $1,2 \text{ мг/м}^3$ (0,56 г/т);
 - при выплавке нержавеющей жаропрочных и кислотоупорных сталей содержание пыли в отходящих газах увеличивается в 1,4-1,5 раза;
 - при продувке кислородом содержание пыли составит ориентировочно около $0,5 \text{ кг}$ на $1,0 \text{ м}^3$ кислорода;
 - в период расплава в пыли содержится до 11 % окислов марганца, в период доводки 6 % окислов кальция и 7 % окислов магния;
 - при газоотсосе с разрывом расход газа увеличивается в 5 раз, через кольцевой отсос в 12 раз, при удалении через зонты и колпаки в 20 раз;
 - при применении кислорода производительность печей увеличивается на 20 %, при плавке легированных сталей уменьшается на 15 %, угар металла и безвозвратные потери 7%.

По заданию преподавателя рассчитываются выбросы CO , SO_2 , NO_x от дуговых печей производительностью 5 т/ч.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5

РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета циклонов.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Очистка промышленных выбросов осуществляется в аппаратах сухой и мокрой очистки. Одним из аппаратов сухой очистки является циклон.

Широкое применение для сухой очистки газов от пыли получили циклоны различных типов. В настоящее время применяется около двадцати типов циклонов. Сравнительные испытания циклонов различного типа показали, что для промышленного применения они могут быть ограничены в большинстве случаев цилиндрическими и коническими циклонами НИИОГАЗ (научно-исследовательский институт по промышленной и санитарной очистке газов). Наиболее часто применяются цилиндрические циклоны марок ЦН-11, ЦН-15, ЦН-24, конические СК ЦН-34, СК ЦН-34М, СДК ЦН-33, конструктивные схемы которых представлены на рис.1(1). Геометрические размеры цилиндрических и конических циклонов указываются в долях от внутреннего диаметра.

Газовый поток вводится в циклон через патрубок по касательной к внутренней поверхности корпуса и совершает вращательно-поступательное движение вдоль корпуса к бункеру. На частицу пыли действуют - сила тяжести, сила сопротивления среды, центробежная сила. Центробежная сила направлена по радиусу к стенкам циклона и определяется по формуле:

$$F_{цб} = \frac{\pi \cdot d_4^3}{6} \cdot \frac{W_{тг}^2}{R} (\rho_4 - \rho_r), \quad (1)$$

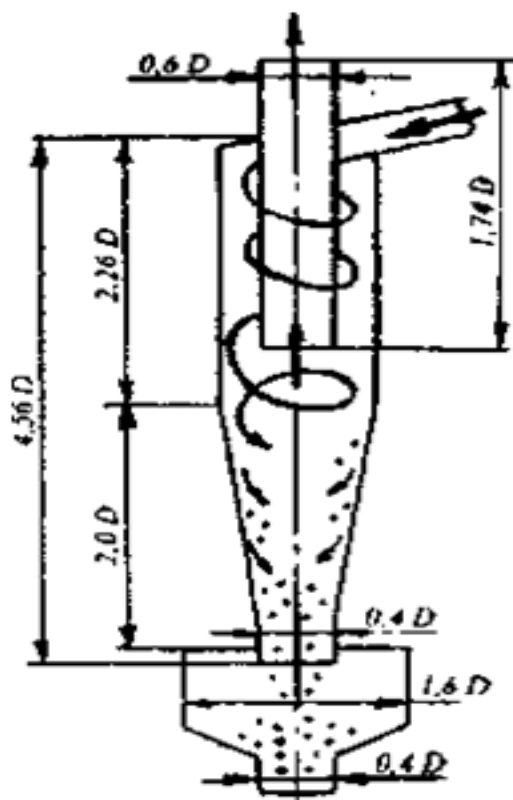
где d_4 - диаметр частиц,

$W_{тг}$ - тангенциальная составляющая скорости газа,

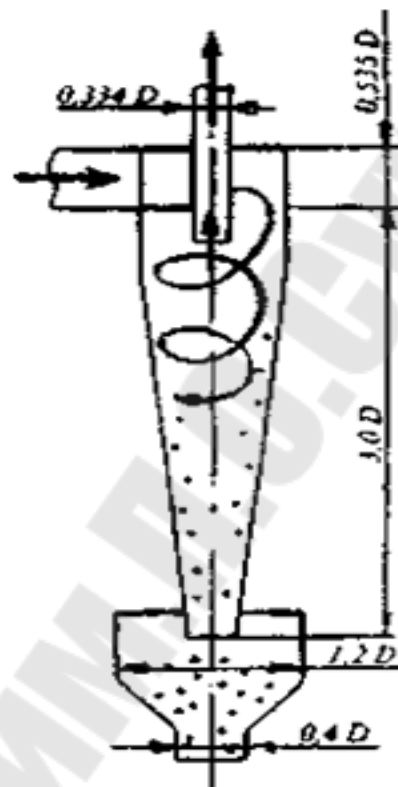
R - радиус циклона,

ρ_4 - плотность частиц пыли,

ρ_r - плотность газа.



Циклон цилиндрический



Циклон конический

Эффективность циклона выше, чем больше диаметр частиц пыли, её удельный вес, скорость вращения газового потока и чем меньше диаметр циклона. Под действием центробежной силы частицы пыли образуют на стенках циклона пылевой слой, который постепенно опускается в бункер. Отделение частиц пыли от газа, попавшего в бункер, происходит при повороте газового потока в бункере. Освободившись от пыли, газовый поток образует вихрь и

выходит через выходную трубу. Циклоны не применяются для очистки влажных газов и взрывоопасных сред.

Циклоны НИИОГАЗ подразделяются на высокоэффективные и высокопроизводительные. Циклоны СДК ЦН-33, СК ЦН 34, ЦН-1 относятся к высокоэффективным циклонам. При диаметрах менее 1 м они обеспечивают степень очистки $[\tau] = 0.85 - 0.95$ при улавливании частиц диаметром более 5 мкм. Циклоны типа ЦН-24 относятся к высокопроизводительным, они могут надежно и без забивания работать при высокой входной запыленности. Циклоны типа ЦН-15 занимают среднее положение и обеспечивают несколько меньшую степень очистки, чем циклоны ЦН-11, но обладают большей надежностью при работе в условиях повышенной запыленности.

При выборе и расчете циклонов необходимо учитывать свойства пыли - абразивность и слипаемость. Для уменьшения абразивного износа следует выбирать циклоны, исходя из наименьших значений скорости газа. При улавливании сильно слипающейся пыли не рекомендуется применять циклоны малого диаметра (менее 0,8 м), которые склонны к залипанию. Так для очистки газов от сажи применяются конические циклоны серии СК, которые обладают высокой эффективностью за счет более высоко гидравлического сопротивления

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений.

Таблица 1 - Параметры, определяющие эффективность циклонов

| Параметры | Тип циклона | | | | | | |
|---------------------|-------------|--------|-------|-------|--------------|-------------|--------------|
| | ЦН-24 | ЦН-15У | ЦН-15 | ЦН-11 | СДК ЦН-33 | СКЦН- 34 | СК ЦН 34М |
| $\omega_{оп}$, м/с | 4,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 | 2,0 | 1,7 | 2,0 |
| $d_{оп}^T$, мкм | 8,50 | 6,00 | 4,50 | 3,65 | 2,31 | 1,95 | 1,13 |
| $\lg \delta_n^T$ | 0,308 | 0,283 | 0,352 | 0,352 | 0,364 | 0,308 | 0,340 |

$\omega_{оп}$ - скорость движения газа в циклоне, м/с,

$d_{оп}^T$ - диаметр частиц освящаемых с эффективностью 50%, мкм,

$\lg \delta_n^T$ - стандартное отклонение функции распределения парциальных коэффициентов очистки.

Расчет начинают с циклона, для которого диаметр частиц пыли должен быть ориентировочно $d_M > 2 \cdot d_{50}^T$. d_M - медианный размер частиц, который представляет такой размер, при котором количество частиц крупнее d_M , равно количеству частиц мельче d_M .

Диаметр циклона вычисляется по формуле:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot \omega_{оп}}}, \quad (2)$$

где Q - количество очищаемого газа, м³/с.

Полученное значение диаметра D округляется до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона $D_{ц}$ (табл.2).

Таблица 2 - Типовые значения внутреннего диаметра циклона

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $D_{ц}, м$ | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

По выбранному диаметру циклона находится действительная скорость движения газа в циклоне:

$$\omega_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D_{ц}^2}, \text{ м/с} \quad (3)$$

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

$$100 \cdot \left| \frac{\omega_p - \omega_{оп}}{\omega_{оп}} \right| \leq 15\%$$

- при отклонении более чем 15% выбирают другой тип циклона.

Параметр d_{50} определяют следующим образом. d_{50} - диаметр частиц реально осаждаемых с эффективностью 50% при рабочих условиях. Величина d_{50} определяется по формуле:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{ц} \cdot \rho_{ч} \cdot \mu \cdot \omega_T}{D_T \cdot \rho_{чм} \cdot \mu_T \cdot \omega_P}}, \quad (4)$$

Значение d_{50}^T соответствует следующим параметрам работы циклона:

$$\omega_T = 3,5 \text{ М/с}$$

$$D_T = 0,6 \text{ м}$$

$$\rho_{чм} = 1930 \text{ кг/м}^3$$

$$\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$$

С учетом этих значений формула (4) принимает вид:

$$d_{50} = d_{50}^T \cdot \sqrt{\frac{D_{ц} \cdot 1930 \cdot \mu \cdot 3,5}{0,6 \cdot \rho_{ч} \cdot 22,2 \cdot 10^{-6} \cdot \omega_P}}, \quad (5)$$

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

Расчет параметра X ведут по формуле:

$$X = \frac{\lg(d_M/d_{50})}{\sqrt{\lg^2 \delta_\eta^T + \lg^2 \delta_\epsilon}}, \quad (6)$$

По величине параметра X определяют значение нормальной функции распределения $\Phi(X)$. $\Phi(X)$ - это полный коэффициент очистки газа, выраженный в долях.

$$\Phi(X) = \begin{cases} 0,3762 \cdot X + 0,5 & 0 \leq X \leq 0,6 \\ 1 - \frac{1}{5,8 \cdot X + 0,5} & X > 0,6 \end{cases}$$

Эффективность очистки газа в циклоне (η) определяются:

$$\eta = \frac{1 + \Phi(X)}{2}, \quad (7)$$

Полученное значение сопоставляют с требуемым. Если η окажется меньше требуемого, то необходимо выбрать другой тип циклона с меньшим значением $\omega_{оп}$ и d_{50}^r .

Определение коэффициента гидравлического сопротивления циклона:

$$\xi = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{500} \quad (8)$$

Где K_1 - поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 3),

K_2 - поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 4),

ξ_{500} - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм(табл. 5).

Таблица 3 - Поправочный коэффициент K_1 (3)

| $D_{ц}$, м | ЦН-11 | ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24 | СДК ЦН-3, СДК ЦН-34, СДК ЦН-34М |
|-------------|-------|----------------------|---------------------------------|
| 0,2 | 0,95 | 0,90 | 1,00 |
| 0,3 | 0,96 | 0,93 | 1,00 |
| 0,4 | 0,99 | 1,00 | 1,00 |
| $\geq 0,5$ | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Таблица 4 - Поправочный коэффициент $D_{ц}$ (3)

| Тип циклона | Запыленность на входе, г/м ³ ($C_{вх}$) | | | | | | |
|-------------|------------------------------------------------------|------|-------|------|-------|------|-------|
| | 0 | 10 | 20 | 40 | 80 | 120 | 150 |
| ЦН-11 | 1,00 | 0,96 | 0,94 | 0,92 | 0,90 | 0,87 | 0,85 |
| ЦН-15 | 1,00 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,90 | 0,87 | 0,86 |
| ЦН-15У | 1,00 | 0,93 | 0,92 | 0,91 | 0,89 | 0,88 | 0,87 |
| ЦН-24 | 1,00 | 0,95 | 0,93 | 0,92 | 0,90 | 0,87 | 0,86 |
| СДК ЦН-33 | 1,00 | 0,81 | 0,785 | 0,78 | 0,77 | 0,76 | 0,745 |
| СК ЦН-34 | 1,00 | 0,98 | 0,947 | 0,93 | 0,915 | 0,91 | 0,90 |
| СК ЦН-34М | 1,00 | 0,99 | 0,97 | 0,95 | - | - | - |

Таблица 5 - Коэффициент гидравлического сопротивления ξ_{500} (2)

| Тип циклона | ЦН-24 | ЦН-15, ЦН-15У | ЦН-11 | СДК ЦН-33 | СК ЦН-34 СК ЦН-34М |
|-------------|-------|---------------|-------|-----------|-----------------------|
| ξ_{500} | 75 | 155 | 245 | 520 | 1050 |

Вычисление гидравлического сопротивления циклона производят по формуле:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{\rho \cdot \omega_p^2}{2}, \text{ Па} \quad (9)$$

где ρ - плотность газа, $\text{кг}/\text{м}^3$

ω_p - скорость газа в циклоне, м/с.

Расчет мощности привода подачи газа. Величина гидравлического сопротивления и объемный расход (Q) очищаемого газа определяют мощность (N) привода устройства для подачи газа к циклону:

$$N = \frac{K_3 \cdot \Delta P \cdot Q}{\eta_M \cdot \eta_B} \quad (10)$$

где K_3 - коэффициент запаса мощности ($K_3 = 1,2$).

η_M - КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору ($\eta_M = 0,8$).

η_B - КПД вентилятора ($\eta_B = 0,8$).

Определение концентрации пыли на выходе из циклона:

$$C_{\text{ВЫХ}} = C_{\text{ВХ}} (1 - \eta), \text{ г}/\text{м}^3 \quad (11)$$

Пример расчета

Исходные данные: оборудование - вращающаяся цементная печь, $Q = 12 \text{ м}^3/\text{с}$, $\rho = 1,29 \text{ кг}/\text{м}^3$, $d_M = 18 \text{ мкм}$, $\lg \delta_4 = 0,652$,

$C_{\text{ВХ}} = 20 \text{ г}/\text{м}^3$, $\rho_c = 2000 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\eta = 0,8$

Исходя из заданного размера частиц пыли ($d_M = 18 \text{ мкм}$), выбираем циклон, который очищает от частиц пыли размером $d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм}$.

Циклон: ЦН - 24

$$\omega_{оп} = 4,5 \text{ м/с} \quad d_{50}^T = 8,5 \text{ мкм} \quad \lg \delta_{\eta}^T = 0,308$$

Определяем диаметр циклона:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 4,5}} = 1,84 \text{ м}$$

По таблице 2 выбираем ближайшее значение типового диаметра $D_{ц} = 1,8 \text{ м}$

$$1) \quad \omega_p = \frac{4 \cdot 12}{\pi \cdot 1,8^2} = 4,72 \text{ м/с}$$

$$100 \cdot \left| \frac{4,72 - 4,5}{4,5} \right| = 4,8\% < 15\%$$

$$2) \quad d_{50} = 8,5 \cdot \sqrt{\frac{1,8}{0,6} \cdot \frac{1930}{2000} \cdot \frac{17,3 \cdot 10^{-6}}{22,2 \cdot 10^{-6}} \cdot \frac{3,5}{4,72}} = 9,7 \text{ мкм}$$

$$d_{50} = 9,7 < d_M = 18 \text{ мкм}$$

$$3) \quad X = \frac{\lg\left(\frac{18}{9,7}\right)}{\sqrt{0,308^2 + 0,652^2}} = 0,372$$

$$4) \quad \Phi(X) = 0,3762 \cdot 0,372 + 0,5 = 0,64$$

$$5) \quad \eta = \frac{1 + 0,64}{2} = 0,82 \quad \eta > 0,8$$

$$6) \quad \xi = 1 \cdot 0,93 \cdot 75 = 69,75$$

$$7) \quad \Delta P = 69,75 \cdot \frac{1,29 \cdot 4,72^2}{2} = 1002 \text{ Па}$$

$$8) \quad N = \frac{1,2 \cdot 1002 \cdot 12}{0,8 \cdot 0,8} = 22551 \text{ Вт}$$

$$9) \quad C_{\text{ВЫХ}} = 20 \cdot (1 - 0,812) = 3,76 \text{ з/м}^3$$

Выводы:

циклон ЦН - 24; $D_{ц} = 1,8 \text{ м}$; $\eta = 0,82$; $N = 22551 \text{ Вт}$; $C_{\text{ВЫХ}} = 3,76 \text{ з/м}^3$.

Варианты заданий

Согласно заданию преподавателя (табл. 6) выбрать и рассчитать циклон, обеспечивающий требуемую эффективность очистки газа. Обозначения, принятые в табл. 6.:

$Q, \text{м}^3/\text{с}$ - объем очищаемого газа,
 $\rho_{\Gamma}, \text{кг}/\text{м}^3$ - плотность газа при рабочих условиях,
 $\mu, \text{Па}\cdot\text{с}$ - вязкость газа при рабочей температуре,
 $d_M, \text{мкм}$ - медианный размер частиц пыли,
 $\lg \delta_4$ - стандартное отклонение размеров частиц пыли,
 $C_{\text{ВХ}}, \text{г}/\text{м}^3$ - входная концентрация пыли,
 $\rho_4, \text{кг}/\text{м}^3$ - плотность частиц пыли,
 η - требуемая эффективность очистки газа.

Таблица 6. Исходные данные для расчета циклона

| № | Наименование оборудования | Q | ρ_{Γ} | μ | d_M | $\lg \delta_4$ | $C_{\text{ВХ}}$ | ρ_4 | η |
|----|----------------------------|-----|-----------------|-------|-------|----------------|-----------------|----------|--------|
| 1 | Клинкерно-обжиговая печь | 20 | 1,29 | 17,3 | 23 | 0,501 | 30 | 2000 | 0,85 |
| 2 | | 26 | 1,29 | 17,3 | 20 | 0,602 | 10 | 2000 | 0,80 |
| 3 | | 10 | 1,29 | 17,3 | 14 | 0,535 | 25 | 2000 | 0,80 |
| 4 | | 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 | | 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 |
| 11 | Вращающаяся цементная печь | 10 | 1,29 | 17,3 | 7 | 0,345 | 40 | 2000 | 0,80 |
| 12 | Вращающаяся цементная печь | 10 | 1,29 | 17,3 | 18 | 0,652 | 20 | 2000 | 0,85 |
| 13 | Электролизер алюминия | 5 | 1,29 | 17,3 | 10 | 0,352 | 1 | 2700 | 0,85 |
| 14 | Вращающаяся печь обжига | 2 | 1,29 | 17,3 | 13 | 0,215 | 100 | 2900 | 0,85 |
| 15 | Вращающаяся печь обжига | 3 | 1,29 | 17,3 | 8 | 0,506 | 40 | 2650 | 0,80 |
| 16 | Распылительная сушилка | 10 | 1,29 | 17,3 | 8 | 0,210 | 4 | 1800 | 0,80 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------------------------|-----|------|------|----|-------|----|------|------|
| 17 | Барабанная сушилка | 10 | 1,29 | 17,3 | 15 | 0,360 | 10 | 1800 | 0,80 |
| 18 | | 12 | 1,29 | 17,3 | 11 | 0,360 | 20 | 1800 | 0,80 |
| 19 | Барабанная сушилка | 8 | 1,29 | 17,3 | 20 | 0,352 | 10 | 2700 | 0,85 |
| 20 | Цементная мельница | 5 | 1,29 | 17,3 | 12 | 0,468 | 60 | 2900 | 0,85 |
| 21 | Наждачный станок | 0,5 | 1,29 | 17,3 | 38 | 0,214 | 10 | 2500 | 0,85 |
| 22 | Шаровая мельница | 3 | 1,29 | 17,3 | 9 | 0,385 | 10 | 2900 | 0,80 |
| 23 | Электролизер алюминия | 8 | 1,29 | 17,3 | 10 | 0,468 | 2 | 2700 | 0,85 |
| 24 | Наждачный станок | 0,6 | 1,29 | 17,3 | 30 | 0,312 | 15 | 2500 | 0,85 |
| 25 | Шаровая мельница | 2 | 1,29 | 17,3 | 6 | 0,268 | 10 | 2900 | 0,80 |
| 26 | Наждачный станок | 0,8 | 1,29 | 17,3 | 30 | 0,314 | 8 | 2500 | 0,85 |
| 27 | Наждачный станок | 10 | 1,29 | 17,3 | 6 | 0,468 | 10 | 2000 | 0,80 |
| 28 | Шаровая мельница | 12 | 1,29 | 17,3 | 7 | 0,214 | 2 | 2000 | 0,80 |
| 29 | Наждачный станок | 8 | 1,29 | 17,3 | 18 | 0,385 | 15 | 2240 | 0,80 |
| 30 | Барабанная сушилка | 5 | 1,29 | 17,3 | 10 | 0,468 | 10 | 2600 | 0,85 |

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

РАСЧЕТ ФИЛЬТРОВ

Цель работы: ознакомление с методикой расчета фильтров.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Технологические расчеты фильтров сводятся к определению площади

фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтрующих элементов.

При выборе конструкции фильтра с гибкой фильтровальной перегородкой приходится учитывать значительное число факторов:

- характеристику очищаемых газов на входе в фильтр: средний объемный расход очищаемых газов в рабочих и нормальных условиях, состав газов и их взрывоопасность, температура и давление, допустимость подсоса, содержание влаги, точка росы;

- свойства пыли: тип пыли (по механизму образования), распределение частиц по размерам, средняя и максимальная массовая концентрации, содержание токсичных веществ, химический состав пыли, ее гигроскопичность и растворимость в воде, склонность к слипанию, взрываемость и горючесть, истинная и насыпная плотности, электризуемость, абразивность, предельнодопустимая концентрация;

- характеристику источника выделения пыли: технологические сведения о процессе и применяемом оборудовании, периодичность или непрерывность процесса, место отсоса запыленных газов, конструкционные материалы, используемые в технологическом оборудовании;

- характеристику и требования к уловленной пыли: ее ценность, возможность регенерации и возвращения в производство, возможность ее использования в других производствах, способ выгрузки, транспортирования и упаковки;

- основные требования к фильтрам: допустимое сопротивление фильтра, задаваемая величина выходной концентрации, размер установки, требуемая площадь, место расположения, необходимое вспомогательное оборудование, климатические условия, лимиты по воде, пару, электроэнергии,

возможность проведения процесса при аварийной остановке фильтра, капитальные и эксплуатационные затраты.

С учетом физико-химических характеристик выбросов, характера производства, технико-экономических и других факторов обосновывают эффективность очистки газов посредством фильтрации, принимают тип фильтрующей среды и фильтра (волоконный, тканевый, зернистый и др.), подбирают приемлемый материал волокон, ткани или гранул; для тканых и зернистых фильтров определяют также способ регенерации фильтрующего слоя.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Фильтрующая поверхность аппарата определяется из выражения:

$$F_{\phi} = ((V_{II} + V_P) / 60 \cdot q) + F_P, \quad (1)$$

где V_{II} – объем газа, поступающего на очистку, м³/ч;

V_P – объем газа или воздуха, расходуемого на регенерацию ткани, м³/ч;

q – удельная газовая нагрузка фильтровальной перегородки при фильтровании, м³/(м²·мин);

F_P – фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерацию в течение 1 час, м².

Величину F_P следует рассчитывать по зависимости:

$$F_P = N_C \cdot F_C \cdot \tau_P \cdot m_P, \quad (2)$$

где N_C – число секций в фильтре;

F_C – фильтрующая поверхность секции, м²;

τ_P – время регенерации секции, с;

m_P – число регенерации в течении 1 часа.

Для фильтров с импульсной продувкой в связи с кратковременностью процесса регенерации поверхности фильтра, выключаемой на время регенерации, и объемом газа, расходуемого на обратную продувку, можно пренебречь.

Удельная газовая нагрузка на фильтровальную перегородку для рукавных фильтров колеблется от 0,3 до 6 м³/(м²·мин). Внутри этого диапазона выбор оптимального значения зависит от многих факторов, к которым в первую очередь относятся свойства улавливаемой пыли, способ регенерации фильтровальных элементов, концентрация пыли в газе, структура фильтровального материала, температура очищаемого газа, требуемая степень очистки.

С достаточной для практических расчетов точностью удельную газовую нагрузку в рукавных фильтрах можно определить из следующего выражения [м³/(м²·мин)]:

$$q = q_H \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot c_5, \quad (3)$$

где q_H – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации (определяется по таблице 1);

c_1 – коэффициент, характеризующий способность регенерации фильтрующих элементов (определяется по данным приведенным ниже);

c_2 – коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку, определяется по рисунку 3;

c_3 – коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе (определяется по данным приведенным ниже);

c_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа (определяется по данным приведенным ниже);

c_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки.

Для коэффициента, учитывающего влияние особенностей регенерации фильтровальных элементов, в качестве базового варианта принимается фильтр с импульсной продувкой сжатым воздухом с рукавами из ткани. Для этого аппарата коэффициент $c_1 = 1$. При использовании рукавов из нетканых материалов значение коэффициента может увеличиваться на 5...10%. Для фильтров с регенерацией путем обратной продувки и одновременного встряхивания или покачивания рукавов принимается коэффициент $c_1 = 0,70...0,85$. Меньшее значение принимается для более плотной ткани. При регенерации путем только обратной продувки

$c_1 = 0,55 \dots 0,70$. В теории фильтрации принято оперировать с величиной, обратной по смыслу эффективности очистки - проскоком. В практике проектирования установок фильтрации степень очистки не вычисляют, а принимают по информации, приводимой в каталогах заводов-изготовителей. Эту величину также следует рассматривать как оценочную. При эксплуатации фильтра величина проскока не остается постоянной во времени. В цикле между регенерациями проскок падает от максимального до минимального значения по мере накопления пыли на фильтре. В целом за период эксплуатации тканевого фильтра проскок длительное время (несколько тысяч циклов) снижается вследствие увеличения остаточной запыленности ткани, а затем, продержавшись, некоторое время на минимальном уровне, начинает расти вследствие износа материала.

Концентрация пыли (коэффициент c_2) сказывается на продолжительности цикла фильтрования. При увеличении концентрации увеличивается частота регенерации и удельная нагрузка должна снижаться. Однако зависимость удельной нагрузки от концентрации пыли не является линейной функцией. Наиболее заметно изменение концентрации проявляет себя в интервале концентраций $1 \dots 30 \text{ г/м}^3$ (см. рис. 1). При более высоких значениях усиливается влияние коагуляции частиц пыли, и часть ее в виде агломератов падает в бункер до ее осаждения на фильтровальных элементах.

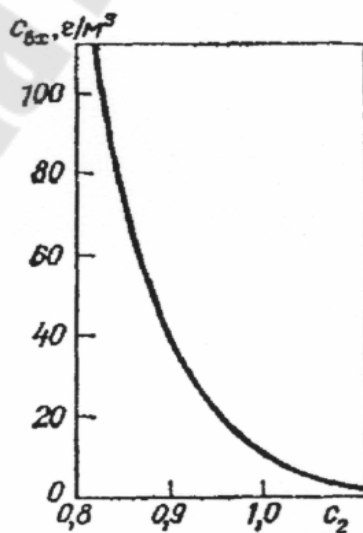


Рис.1. Зависимость коэффициента c_2 от концентрации пыли на входе в фильтр $C_{вх}$

Коэффициент c_5 , учитывающий требования к качеству очистки, оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. При концентрации пыли в отходящих газах 30 мг/м^3 $c_5 = 1$, а при 10 мг/м^3 $c_5 = 0,95$.

Энергетические затраты и эффективность процесса очистки непосредственно зависят от сопротивления, создаваемого фильтрующим слоем, т.е. тканью и автослоем (слоем пыли, осевшей на ткани в процессе фильтрации).

Составляющую сопротивления, зависящую от структуры ткани, называют остаточным сопротивлением ткани, предполагая, что в порах ткани после регенерации остается определенное (так называемое "равновесное") количество пыли. Однако на величину остатка кроме способа регенерации влияет множество других причин. Поэтому остаточное сопротивление после регенераций может изменяться в достаточно широких пределах.

При подборе рукавных фильтров важным является оценка ожидаемого гидравлического сопротивления, определяющего энергетические затраты на фильтрование. Гидравлическое сопротивление фильтра в Па складывается из сопротивления корпуса ΔP_k и сопротивления фильтровальной перегородки ΔP_n .

$$\Delta P_\phi = \Delta P_k + \Delta P_n, \quad (4)$$

Гидравлическое сопротивление корпуса аппарата определяется величиной местных сопротивлений, возникающих на входе в аппарат и выходе из него и при раздаче потока по фильтровальным элементам. В общем виде гидравлическое сопротивление может быть оценено коэффициентом сопротивления корпуса аппарата, отнесенным к скорости газа во входном патрубке:

$$\xi_k = \frac{\Delta P_k^2}{\rho_\Gamma \cdot v}, \quad (5)$$

где v - скорость газа во входном патрубке, м/с.

Величина ξ_k при конструировании фильтров обычно принимается равной 1,5 ... 2,0.

Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки включает потери напора за счет самой перегородки (ΔP_n) и потери за счет осевшей на перегородку пыли (ΔP_n^{\cdot}):

$$\Delta P_n = \Delta P_n^{\cdot} + \Delta P_n, \quad (6)$$

Величину ΔP_n^{\cdot} (в Па) удобно вычислять по выражению:

$$\Delta P_n^{\cdot} = K_n \cdot \mu \cdot v^n, \quad (7)$$

где K_n – коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки, m^{-1} ;

μ – динамическая вязкость газа, Па·с;

v – скорость фильтрации, м/с;

n – показатель степени, зависящий от режима течения газа сквозь перегородку (для ламинарного режима $n = 1$, для турбулентного $n > 1$).

Коэффициент K_n зависит от толщины и проницаемости фильтровальной перегородки, количества пыли, оставшейся на перегородке после регенерации, свойств пыли. Поэтому этот коэффициент определяют экспериментально. Например, для фильтровальных тканей из лавсана, улавливающих цементную или кварцевую пыль с медианным диаметром в пределах 10...20 мкм, $K_n = (1100...1500) \cdot 109 m^{-1}$, для тех же материалов при улавливании возгонов от сталеплавильных дуговых печей с медианным диаметром частиц 2,5...3,0 мкм $K_n = (2300...2400) \cdot 109 m^{-1}$. Для более плотных тканей (лавсан, стеклоткань) на тех же пылях коэффициент K_n увеличивается в 1,2...1,3 раза.

При улавливании пылей с медианным размером частиц меньше 1 мкм коэффициент K_n увеличивается в несколько раз и для лавсана. При улавливании возгонов кремния с медианным диаметром 0,6 мкм он составляет $(13000...15000) \cdot 109 m^{-1}$.

Приведенные значения коэффициентов не учитывают возможное увеличение его в присутствии влаги.

Сопротивление в Па, вызванное осевшей на перегородку пылью, рассчитывается по уравнению:

$$\Delta P_n' = \mu \cdot \tau \cdot C_{BX} \cdot v^2 \cdot K_1, \quad (8)$$

где τ – продолжительность фильтровального цикла, с;
 C_{BX} – концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м²;
 K_1 – параметр сопротивления слоя пыли, м/кг.

Величина K_1 зависит от свойств пыли и порозности слоя пыли на перегородке. Например, для цемента с медианным диаметром частиц $d_m = 12...20 \text{ мкм}$ $K_1 = (6,5 - 16) \cdot 109 \text{ м/кг}$, для частиц кремния $d_m = 0,7 \text{ мкм}$ $K_1 = 330 \cdot 109 \text{ м/кг}$, для возгонов сталеплавильной дуговой печи $d_m = 3 \text{ мкм}$ $K_1 = 80 \cdot 109 \text{ м/кг}$.

Пользуясь формулой (8), при известном или заданном гидравлическом сопротивлении слоя пыли можно найти продолжительность фильтровального цикла:

$$T = \frac{\Delta P_{II}'}{\mu \cdot C_{BX} \cdot K_1}, \quad (9)$$

Следует иметь в виду, что общее сопротивление рукавных фильтров не должно превышать 2800 Па, а сопротивление слоя пыли на перегородке 600...800 Па.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица В.1. Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке чугуна в вагранках

| Производительность вагранки, т/ч | Загрязняющее атмосферу вещество | Количество выделяющегося вещества | | | |
|----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|-------|
| | | кг/ч | | кг/т | |
| | | Средн. | Макс. | Средн. | Макс. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 3,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 30,4 | 37,2 | 10,1 | 12,4 |
| | Железа оксид | 23,6 | 28,8 | 7,9 | 9,6 |
| | Углерода оксид | 540,0 | 660,0 | 180,0 | 220,0 |
| | Серы диоксид | 3,6 | 4,5 | 1,2 | 1,5 |
| | Углеводороды C12-C19 | 0,4 | 7,2 | 0,13 | 2,4 |
| | | | | | |
| 4,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 40,5 | 49,5 | 10,1 | 12,4 |
| | Железа оксид | 31,5 | 38,5 | 7,9 | 9,6 |
| | Углерода оксид | 720,0 | 880,0 | 180,0 | 220,0 |
| | Серы диоксид | 4,6 | 5,9 | 1,2 | 1,5 |
| | Углеводороды C12-C19 | 0,5 | 9,2 | 0,12 | 2,3 |
| | | | | | |
| 5,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 50,7 | 61,9 | 10,1 | 12,4 |
| | Железа оксид | 39,3 | 48,1 | 7,9 | 9,6 |
| | Углерода оксид | 850,0 | 1000 | 170,0 | 200,0 |
| | Серы диоксид | 5,9 | 7,5 | 1,2 | 1,5 |
| | Углеводороды C12-C19 | 0,6 | 10,8 | 0,12 | 2,2 |
| | | | | | |
| 7,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 70,9 | 78,8 | 10,1 | 12,4 |
| | Железа оксид | 55,1 | 61,2 | 7,9 | 9,6 |
| | Углерода оксид | 1240,0 | 1540,0 | 180,0 | 220,0 |
| | Серы диоксид | 9,7 | 11,1 | 1,4 | 1,6 |
| | Углеводороды C12-C19 | 1,0 | 17,2 | 0,15 | 2,4 |
| | | | | | |
| 10,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 101,3 | 112,6 | 10,1 | 11,3 |
| | Железа оксид | 78,7 | 87,4 | 7,9 | 8,7 |
| | Углерода оксид | 1700,0 | 1900,0 | 170,0 | 190,0 |
| | Серы диоксид | 12,4 | 15,4 | 1,2 | 1,5 |
| | Углеводороды C12-C19 | 1,3 | 22,0 | 0,13 | 2,2 |
| | | | | | |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------|---------------------|--------|--------|-------|-------|
| 15,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 135,1 | 162,1 | 9,0 | 10,1 |
| | Железа оксид | 104,9 | 125,9 | 7,0 | 7,9 |
| | Углерода оксид | 2400,0 | 3000,0 | 160,0 | 200,0 |

Таблица В.4. Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке чугуна в индукционных печах

| Марка печи | Производительность, т/ч | Загрязняющее атмосферу вещество | Количество выделяющегося вещества | |
|------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|------|
| | | | г/с | кг/т |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| ИЧТ-0,4 | 0,4 | Пыль SiO_2 20-70% | 3,89 | 1,19 |
| | | Железа оксид | | |
| | | Углерода оксид | 0,28 | 0,11 |
| | | Азота диоксид | 0,15 | 0,06 |
| | | Серы диоксид | 0,39 | 0,2 |
| ИЧТ-2,5 | 2,5 | Пыль SiO_2 20-70% | 6,75 | 1,40 |
| | | Железа оксид | | |
| | | Углерода оксид | 0,83 | 0,12 |
| | | Азота диоксид | 0,44 | 0,07 |
| | | Серы диоксид | 0,34 | 0,14 |
| ИЧТ-6 | 6,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 26,25 | 1,24 |
| | | Железа оксид | | |
| | | Углерода оксид | 1,94 | 0,12 |
| | | Азота диоксид | 1,22 | 0,06 |
| | | Серы диоксид | 2,64 | 0,12 |
| ИЧТ-10 | 10,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 41,67 | 1,10 |
| | | Железа оксид | | |
| | | Углерода оксид | 3,33 | 0,09 |
| | | Азота диоксид | 3,06 | 0,08 |
| | | Серы диоксид | 4,44 | 0,12 |

Таблица В.5. Удельные выделения загрязняющих веществ при плавке стали в электродуговых печах

| Емкость печи, т | Производительность, т/ч | Загрязняющее атмосферу вещество | Количество выделяющегося вещества | | | |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|-------|---------|-------|
| | | | кг/ч | | кг/т | |
| | | | Среднее | Макс. | Среднее | Макс. |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 0,5 | 0,33 | Пыль SiO_2 20-70% | 0,5 | 0,5 | 1,5 | 1,6 |
| | | Железа оксид | 2,7 | 2,8 | 8,3 | 8,4 |
| | | Углерода оксид | 0,4 | 0,5 | 1,2 | 1,5 |
| | | Азота диоксид | 0,08 | 0,10 | 0,24 | 0,30 |
| 1,5 | 0,94 | Пыль SiO_2 20-70% | 1,4 | 1,5 | 1,5 | 1,6 |
| | | Железа оксид | 7,7 | 7,8 | 8,2 | 8,3 |
| | | Углерода оксид | 1,1 | 1,3 | 1,1 | 1,3 |
| | | Азота диоксид | 0,20 | 0,26 | 0,24 | 0,28 |
| 3,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 5,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 6,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 10,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 12,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|------|------|---------------------|-------|-------|------|------|
| 20,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 25,0 | 1,56 | Пыль SiO_2 20-70% | 2,3 | 2,4 | 1,5 | 1,5 |
| | | Железа оксид | 12,4 | 12,6 | 7,9 | 8,1 |
| | | Углерода оксид | 1,8 | 2,2 | 1,2 | 1,4 |
| | | Азота диоксид | 0,36 | 0,44 | 0,24 | 0,28 |
| 40,0 | 23,0 | Пыль SiO_2 20-70% | 23,5 | 24,2 | 1,0 | 1,1 |
| | | Железа оксид | 126,0 | 129,8 | 5,5 | 5,6 |

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов С.В. и др. Охрана окружающей среды. – М.: Высшая школа, 1991 г.
2. Болбас М.М. и др. Транспорт и окружающая среда. – Мн.: Технопринт, 2003.
3. Болдин В.Н., Жуковский С.С. и др. Экология литейного производства.- Брянск: Издательство БГТУ, 2001.
4. Гарин В.М. и др. Экология для технических вузов. – Ростов н/Д: Феникс, 2001.
5. Горелов А.А. Экология. М.: Центр, 1998. Калверт С., Инглунд Г. Защита атмосферы от промышленных загрязнений. – М.: Metallurgia, 1988, 711 с.
6. Методика расчета количественных характеристик выбросов вредных веществ в атмосферу от основного технологического оборудования предприятий машиностроения. – М.: НИИОГАЗ, 1982.
7. Хван Т.А. Промышленная экология. – Ростов н/Д: Феникс, 2003.
8. Челноков А.А., Ющенко Л.Ф. Основы промышленной экологии. – Мн.: Вышэйшая школа, 2001.
9. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при горячей обработке металлов. (РД 0212.3 - 2002).- Минск, 2002.
10. Ровин Л.Е. Защита воздушного бассейна от выбросов промышленных предприятий. – Мн. БелНИИНТИ, 1984.
11. Сборник методик по расчету выбросов веществ различными производствами. – Л.: Гидрометиздат, 1986.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Практическая работа № 1 | |
| Определение количества дымовых газов по составу сжигаемого топлива | 3 |
| Практическая работа №2 | |
| Определение количества вредных выбросов от транспорта и расчет экологического налога | 6 |
| Практическая работа №3 | |
| Расчет количества выбросов загрязняющих веществ при плавке и заливке металлов | 10 |
| Практическая работа №4 | |
| Расчет количества выбросов загрязняющих веществ при плавке стали в электродуговых печах | 13 |
| Практическая работа №5 | |
| Расчет циклонов | 17 |
| Практическая работа №6 | |
| Расчет фильтров | 27 |
| Приложение | 34 |
| Литература | 38 |

ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ

Практикум

**по одноименному курсу для студентов
специальности 1-42 01 01 «Металлургическое
производство и материалобработка»
дневной и заочной форм обучения**

Составитель Русая Людмила Николаевна

Подписано к размещению в электронную библиотеку
ГГТУ им. П. О. Сухого в качестве электронного
учебно-методического документа 15.10.15.

Рег. № 6Е.
<http://www.gstu.by>