

Harjutused 12. Расчёт пылевой камеры очистки парогазовой смеси от твердых примесей.



В данной теме рассматривается конструкция пылевой камеры, предназначенной для очистки парогазовой смеси от твёрдых примесей, а также методы расчёта осадительной камеры и циклона первой ступени.

12.1. Общая характеристика очистки парогазовой смеси

Пылевая камера играет важную роль в системе очистки парогазовой смеси (ПГС) от твёрдых примесей, которые существенно влияют на качество готовых продуктов.

Парогазовая смесь продуктов пиролиза горючего сланца поступают из реактора в пылевую камеру, где происходит их разделение. ПГС улавливается двухступенчатыми циклонами пылевой камеры, где происходит её очистка от частиц полукокса и направляется в отделение конденсации.

Парогазовая смесь радикально освобождается от ультрадисперсных компонентов в отделении конденсации путём конденсации части фракции тяжёлого масла в специальной системе мокрой очистки. Очищенная парогазовая смесь поступает далее в ректификационную колонну, где разделяется на фракции.

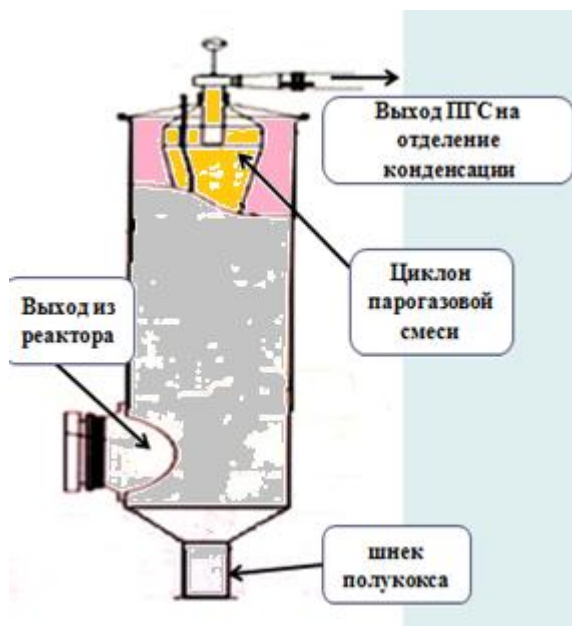


Рис. 1. Пылевая камера.

Для очистки парогазовой смеси от твёрдых продуктов в пылевой камере используется двухступенчатая система циклонной очистки с принудительным отсосом из циклона второй ступени потока. Сброс выделенной циклонами ПГС пыли производится в нижнюю часть пылевой камеры. Данный технологический узел установки потребовал длительных поисковых исследований. Это связано со спецификой процесса, а именно использованием мелкозернистого сланца и низкой механической прочности сланцевого полукокса, высоким содержанием твердого вещества в газе до 1000-1500 мг на м³ при размере части менее 10мкм. Кроме этого дополнительные трудности очистки связаны с тонкодисперсностью большого количества пыли, большого весового содержания масляных паров и близкого расположения точки росы отдельных фракций парогазовой смеси к температуре процесса.

В узел очистки парогазовой смеси входит пылевая камера, где за счёт гравитационных сил происходит очистка ПГС от крупных взвешенных частиц полукокса. Циклон парогазовой смеси второй ступени при выходе из пылевой камеры соединён переходным патрубком - газоходом со скруббером, орошающимся тяжёлым маслом для окончательной очистки ПГС от взвешенной пыли – узел «мокрой» очистки. Парогазовая смесь из пылевой камеры поступает в циклон. Уловленный полукокс из циклона 1 ступени удаляется по пылевому стояку в пылевую камеру. Назначение стояка - это удаление пыли из бункера уловленной циклоном и осуществление пылевого затвора между пылевой камерой и данным циклоном. Из циклона 1 ступени парогазовая смесь по газоходу направляется в циклон 2 ступени. Уловленная пыль полукокса из циклона 2 ступени удаляется по пылепроводу за счёт тяги эжектора, который работает на перегретом паре 15ата. Перегрев пара достигается посредством электрического пароперегревателя. Включение пароперегревателя производится по месту. Стояк для прочистки в случае подвисания полукокса имеет ручное шуровочное устройство.

После очистки от взвешенных частиц полукокса в циклонах парогазовой смеси, парогазовая смесь поступает по соединительному газоходу в скруббер, где происходит окончательная «мокрая» очистка от мелкого полукокса посредством орошения тяжёлым маслом. Тяжёлое масло захватывает при орошении частички мелкой пыли, стекает в ёмкость тяжёлого масла, откуда насосами тяжёлого масла отделения конденсации направляется на охлаждение и повторное орошение скруббера. Избыточное его количество направляется на вторичный пиролиз в реактор.

12.2. Пылевая камера

В пылевой камере осуществляется разделение твердой фазы (полукокса) и парогазовой смеси продуктов термического разложения сланца (ПГС).

На установке пылевая камера используется в качестве устройства предварительной обработки газов, например, для отделения крупных частиц и разгрузки аппаратов последующих ступеней. В связи с этим данное оборудование используют только на первых ступенях систем газоочистки для осаждения частиц крупных размеров (более 100 мкм).

Внутренняя поверхность пылевой камеры футерирована. Металлический корпус пылевой камеры выполнен из стали.

12.2.1. Расчёт процесса уноса пыли из пылевой камеры

Исходные данные по количеству парогазовой смеси, её теплофизическим свойствам и рабочим параметрам в пылевой камере принимаем по следующим данным

Таблица 1

Исходные данные для расчёта

Наименование	Обозначение	Единицы измерения	Значение
Расход парогазовой смеси	$G_{\text{ПГС}}$	кг/ч	29746
Расход водяного пара	$G_{\text{в-п}}$	кг/ч	520
Молекулярный вес смеси (с учётом водяного пара)	$M_{\text{см.}}$		52,49
Рабочая температура в камере	t_k	$^{\circ}\text{C}$	475
Температура по Кельвину	t_0	$^{\circ}\text{C}$	273
Температура по Кельвину	T_k	$^{\circ}\text{C}$	748(273+475)
Давление в камере	P_k	кгс/м ²	1,2(12332)
Плотность пыли	$\rho_{\text{п}}$	кг/м ³	1800
Вязкость парогазовой смеси (с учётом водяного пара)	$\mu_{\text{см}}$	Па·с	$20,42 \cdot 10^{-6}$
Расход циркуляционного масла	m	т/ч	3

Расчет размера осаждаемых частиц пыли пылевой камере ($D_{\text{вн.}} = 6500$ мм)

Находим площадь свободного сечения камеры в зоне входа в циклон первой ступени:

$$D_{\text{вн.}} = 6500 \text{ мм}$$

$$S_{\text{св.}} = S_k - S_{\text{ц.1}} - S_{\text{ц.2}}$$

где: S_k – площадь сечения камеры, м²

$S_{\text{ц.1}}$ – площадь сечения циклона первой ступени в зоне входа в него ПГС, м²

$S_{\text{ц.2}}$ – площадь сечения циклона второй ступени, м²

Sergey Chekryzhov, EVM0152 “Kütuste keemia ja tehnoloogia II”. Harjutuseg 12.

Наружные диаметры циклонов $D = 2,04$ м., $D = 2040$ мм.

Свободное сечение камеры (с учётом площади входной улитки циклона первой ступени) составит:

$$S_{св.сеч} = 0,7854 \cdot D_k^2 - \frac{0,7854 \cdot (D_{yl}^2 + D_{ц.1}^2)}{2} - 0,4 \cdot 1,0 - 0,7854 \cdot D_{ц.2}^2$$

$$S_{св.сеч} = 0,7854 \cdot 6,5^2 - \frac{0,7854 \cdot (2,36^2 + 2,04^2)}{2} - 0,4 \cdot 1,0 - 0,7854 \cdot 2,04^2 = 25,6 \text{ м}^2$$

Плотность ПГС на входе в циклон рассчитываем по формуле:

$$\rho_{ПГС} = \frac{M_{ПГС} \cdot P_k \cdot T_0}{V_m \cdot P_0 \cdot T_k}, \text{ где}$$

$M_{ПГС}$ – молярная масса ПГС, кг/кмоль

P_k – давление ПГС на входе в циклон, кгс/м²

T_0 – температура, характеризующая нормальные условия, К

V_m – молярный объем газа

P_0 – давление на выходе из циклона, кгс/м²

T_k – температура ПГС на входе в циклон, К

$$\rho_{ПГС} = \frac{M_{см} \cdot P_k \cdot T_0}{22,4 \cdot P_0 \cdot T_k} = \frac{52,49 \cdot 12332 \cdot 273}{22,4 \cdot 10133 \cdot (475 + 273)} = \frac{176714723,6}{169780441,6} = 1,04 \text{ кг/м}^3$$

Рассчитаем объём смеси на входе в циклон:

$$V_{смеси} = \frac{G_{ПГС} + G_{в.п}}{\rho_{ПГС}}, \text{ где}$$

$G_{ПГС}$ – расход ПГС, кг/ч

$G_{в.п}$ – расход водяного пара, кг/ч

$\rho_{ПГС}$ – плотность ПГС

$$V_{смеси} = \frac{(29746 + 520)}{1,04} = 29102 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Рассчитаем скорость ПГС на входе в пылевую камеру:

$$w_{смеси} = \frac{V_{смеси}}{S_{св.сеч.} \cdot 3600}, \text{ где}$$

$V_{смеси}$ – объём смеси на входе в циклон

$S_{св.сеч}$ – площадь свободного сечения пылевой камеры

$$w_{смеси} = \frac{29102}{25,6 \cdot 3600} = \frac{29102}{92160} = 0,316 \text{ м/с}$$

Найдём значение критерия Лященко (Ly) для газовой среды:

$$Ly = \frac{w_{ос}^3 \cdot \rho_{см}^2}{\mu_{см} \cdot \rho_n \cdot g}$$

$W_{ос}$ – скорость ПГС на входе в пылевую камеру

$\rho_{ПГС}$ – плотность ПГС

$\mu_{\text{см}}$ – плотность сланцевой золы

$\rho_{\text{п}}$ – вязкость ПГС

g – ускорение свободного падения

Минимальный диаметр осаждаемых в условиях пылевой камеры частиц пыли определяется из условия равенства скорости осаждения частиц скорости ПГС.

(“скорости витания”)

Т.е., $w_{\text{ос}} = w_{\text{см}} = w_{\text{вит.}}$

Подставляя в выражение для расчёта критерия Лященко скорость ПГС в камере, определяется значение критерия.

$$L_y = \frac{0,316^3 \cdot 1,04^2}{20,42 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 1800} = \frac{0,034129}{0,36057636} = 0,09465 = 0,0946$$

По номограмме определяющей зависимость критериев Re и Ly от критерия Архимеда (Ar) для осаждения одиночной частицы, определяется соответствующее значение критерия Архимеда (Ar)

$Ar \approx 29,0$

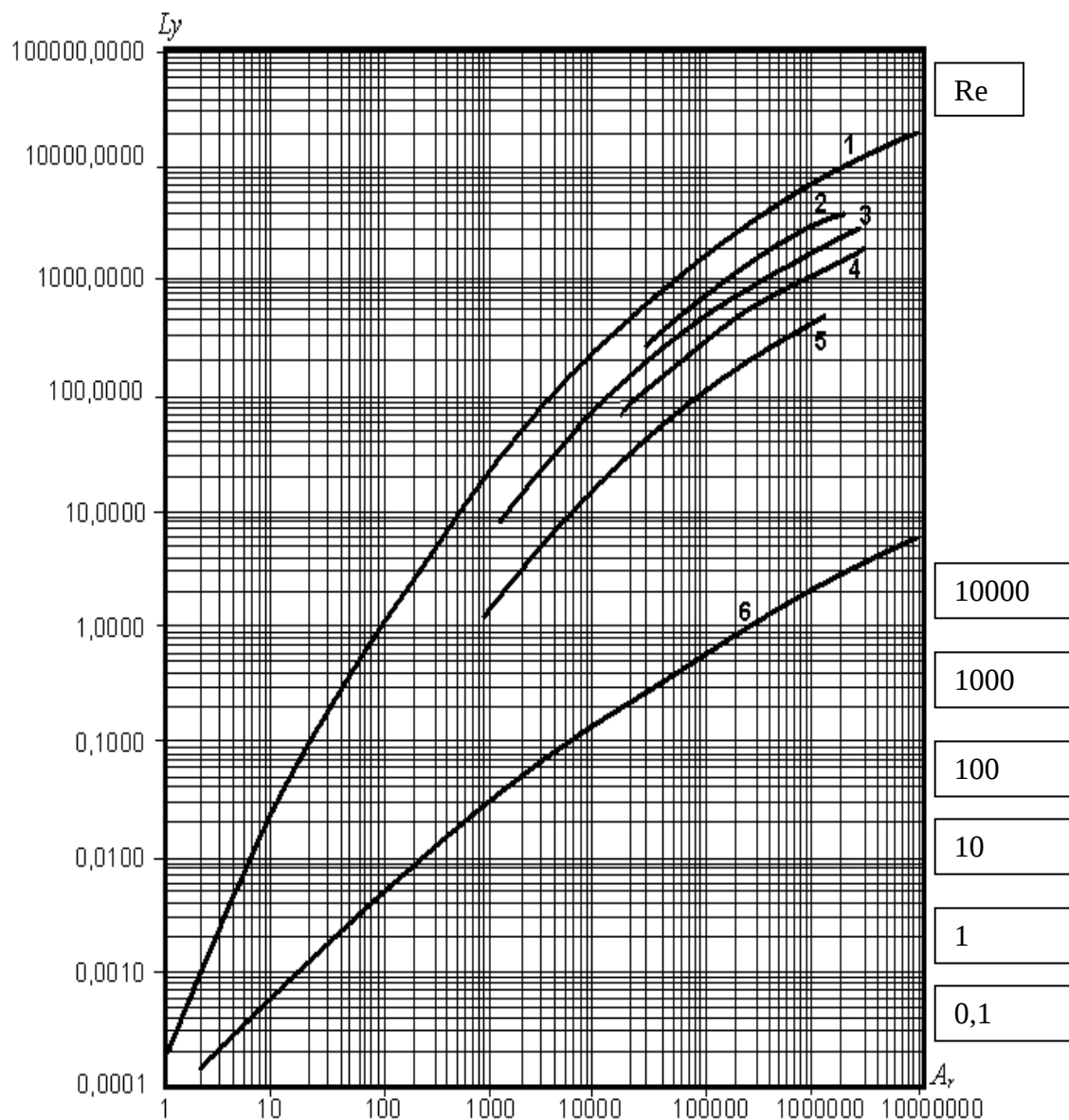


Рис. 1. Зависимость критериев Re и Ly от критерия Ar для осаждения одиночной частицы в неподвижной среде: 1 и 6 – шарообразные частицы; 2 – округленные; 3– угловатые; 4 – продолговатые; 5 – пластинчатые.

Из выражения для критерия $Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot \rho_{ПГС} \cdot g}{\mu_{смеси}^2}$ определяется диаметр

осаждаемых частиц:

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot \rho_{ПГС} \cdot g}{\mu_{смеси}^2}, \text{ где}$$

$\rho_{ПГС}$ – плотность ПГС

$\mu_{см}$ – плотность сланцевой золы

ρ_{Π} – вязкость ПГС

g – ускорение свободного падения

$$Ar = \frac{d^3 \cdot \rho_{\Pi} \cdot \rho_{ПГС} \cdot g}{\mu_{смеси}^2} \Rightarrow d^3 = \frac{Ar \cdot \mu_{смеси}}{\rho_{\Pi} \cdot \rho_{ПГС} \cdot g}$$

$$d^3 = \frac{29 \cdot (20,42 \cdot 10^{-6})^2}{1800 \cdot 1,04 \cdot 9,81} = \frac{59,22 \cdot 10^{-10}}{18364,32} = 3,225 \cdot 10^{-13}$$

$d = \sqrt[3]{3,225 \cdot 10^{-13}} = 6,8 \cdot 10^{-5} = 6,8 \text{ мкм}$ – минимальный диаметр осаждаемых частиц в пылевой камере

$$d = 6,8 \cdot 10^{-5} \text{ м} = 68 \text{ мкм}$$

Оценка запылённости ПГС вверху пылевой камеры

Оценка запылённости ПГС на входе в циклон первой ступени выполнялась на основании исходных данных.

При работе только циклона первой ступени очистки и расходе возвращаемого в цикл тяжёлого масла $G_{т.м.1} = 3000 \text{ кг/ч}$ содержание механических примесей в нём составляло $x_1 = 16\%$ вес.

При работе двух ступеней очистки и расходе возвращаемого в цикл тяжёлого масла в количестве $G_{т.м.2} = 2000 \text{ кг/ч}$ содержание механических примесей в нём составляло $x_2 = 2\%$

Расчётный коэффициент очистки ПГС в циклоне первой ступени принимаем

$\eta_{1 \text{ ст}} = 84,5\%$, то можно рассчитать оценку запылённости ПГС вверху пылевой камеры.

Количество пыли на выходе из циклона первой ступени при работе одной ступени составило:

$$G_{п.вых.1} = \frac{G_{т.м.1} \cdot X_1}{100} = \frac{3600 \cdot 16}{100} = 480 \text{ кг/ч}$$

Предполагая, что коэффициент эффективности очистки первой ступени составляет $84,5\%$, определяется расход пыли на входе в циклон:

$$G_{п.вх.} = \frac{G_{п.вых.} \cdot 100}{100 - \eta}, \text{ где}$$

$G_{п.вых.}$ – количество пыли на выходе из циклона

η – коэффициент очистки

$$G_{п.вх.} = \frac{480 \cdot 100}{100 - 84,5} = \frac{48000}{15,5} = 3097 \text{ кг/ч}$$

Содержание пыли в ПГС на входе в циклон первой ступени составит:

$$C = \frac{G_{п.вх.}}{V_{смеси}} = \frac{3097}{29102} = 0,1064 \approx 106 \text{ г/м}^3$$

Источники.

1. Блохин А.И.и др. Энерготехнологическая переработка топлив твердым теплоносителем. Москва. Светлый Стан, 2005