

Esercitazione sui sistemi di abbattimento e sistemi di trasporto pneumatico

1

Una ditta di consulenza propone l'acquisto di due batterie di 450 cicloni Stairmand di diametro $D_c = 0.25 \text{ m}$ come soluzione ottimale per depurare una portata di aria ($\mu = 2.48 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $MM = 29 \text{ kg/m}^3$) $Q = 165 \text{ m}^3/\text{s}$ a temperatura $T = 450 \text{ K}$ e pressione $p = 1 \text{ atm}$ carica di particelle di diametro $D_p = 10 \text{ }\mu\text{m}$ e densità $\rho_p = 1600 \text{ kg/m}^3$.

- Utilizzando le formule per il dimensionamento pratico delle batterie di cicloni (p. 351 Process Engineering and design for air pollution control) calcolare l'efficienza di separazione e le perdite di carico per la configurazione proposta.
- Dimensionare un ciclone Stairmand singolo in grado di realizzare la stessa efficienza di separazione e calcolare le perdite di carico in questo caso.
- Calcolare il costo associato alle due scelte (multiciclone e ciclone singolo) considerando costi di investimento (p.353) e costi annuali di esercizio (costo della potenza per movimentare il flusso attraverso il sistema di separazione) considerando che si prevede per l'impianto una durata di 10 anni e 8000 h/anno di funzionamento, il rendimento del compressore per l'aria è pari a 0.65 e il costo di esercizio (potenza elettrica) è pari a $C_E = 0.08\$/\text{kWh}$.
- Calcolare quale dovrebbe essere il numero ottimo di cicloni per minimizzare il costo totale dell'impianto (suggerimento: scrivere l'espressione del costo annuo in funzione del numero di cicloni, utilizzare il vincolo sull'efficienza per derivare una relazione tra numero di cicloni e diametro del singolo ciclone, impostare il problema di ottimo per il costo)

2

Si deve realizzare una camera a gravità per separare particolato di carbone di densità 2600 kg/m^3 da un flusso di aria ($\rho = 1.4 \text{ kg/m}^3$, $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$). La portata del flusso è $Q = 4 \text{ m}^3/\text{s}$ e le dimensioni della camera sono $W = 2 \text{ m}$, $H = 2 \text{ m}$ e $L = 15 \text{ m}$.

- Verificare che il flusso nella camera è turbolento.
- Considerando le equazioni per il dimensionamento in flusso turbolento, determinare il numero di piani di deposizione che consente di separare con almeno 90% di efficienza particelle di diametro $D_p = 10 \text{ }\mu\text{m}$.
- Determinare l'efficienza di deposizione per il numero di piani scelti.
- Determinare l'efficienza di separazione complessiva del separatore se la corrente d'aria trasporta particelle di distribuzione dimensionale data da:

D_p	$1\mu\text{m}$	$5\mu\text{m}$	$10\mu\text{m}$	$15\mu\text{m}$	$20\mu\text{m}$
%	5	10	50	20	15

3

Una centrale che produce energia elettrica da bruciatori a carbone deve acquistare un precipitatore elettrostatico per adeguare le emissioni ai limiti di legge. L'analisi di un campione di polveri prelevate dalla corrente da trattare ha permesso di ricavare le seguenti caratteristiche:

Distrib. dimensionale	D_p [μm]	% in peso	q_p [C]
	0.5	20	$1.6 \cdot 10^{-15}$
	1.0	50	$6.4 \cdot 10^{-15}$
	2.0	20	$25.6 \cdot 10^{-15}$
	5.0	10	$160 \cdot 10^{-15}$
densità ρ_p [kg/m^3]		800	

Ipotizzando che le particelle entrino nel precipitatore già cariche (carica q_p), e sapendo che la portata del flusso da trattare è di $4 \text{ m}^3/\text{s}$, che in impianto si dispone di una differenza di potenziale pari a $5 \cdot 10^4 \text{ V}$, che il massimo ingombro ammesso per il precipitatore è $Vol = 16 \text{ m}^3$ e che è necessario realizzare un abbattimento del 99% per le particelle più piccole,

1. dimensionare un precipitatore piastra-piastra che permetta di raggiungere l'obiettivo;
2. determinare l'efficienza di abbattimento globale per il campione di polveri.

4

Particelle di cenere (densità $\rho_p = 800 \text{ kg/m}^3$, diametro $D_p = 100 \text{ }\mu\text{m}$) devono essere separate da una corrente di gas (portata $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$, densità $\rho = 1.4 \text{ kg/m}^3$, viscosità $\mu = 1.8 \cdot 10^{-5} \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

1. Determinare quale dovrebbe essere la lunghezza di una camera a gravità (larghezza massima $W = 2 \text{ m}$) che permette di ottenere il 100 % di separazione (dimensionamento in regime laminare);
2. Determinare quale deve essere la lunghezza della camera se il dimensionamento è fatto in ipotesi di regime turbolento e si vuole garantire una efficienza di separazione pari al 95%.

5

Un impianto industriale preleva acqua di fiume (densità ρ , viscosità μ) per utilizzarla come acqua di raffreddamento. Al punto di presa, particelle di sabbia (diametro D_p e densità ρ_p) risultano sospese nell'acqua e prima dell'ingresso nell'impianto l'acqua viene fatta fluire lungo un tratto di tubo verticale ascendente per separarle dalla corrente. Nell'ipotesi che le particelle di sabbia si muovano in regime di Stokes ($C_D = 24/Re_p$, $Re_p = \rho D_p \|v_p - v\|/\mu$):

1. determinare la massima velocità di salita dell'acqua nel tratto verticale affinché le particelle possano depositarsi;
2. determinare la lunghezza del tratto ascendente affinché si abbia separazione se la velocità dell'acqua è pari all'80% del valore massimo.

6

Dimensionare un sistema di separazione a due stadi (ciclone Swift + ESP) per separare polveri ($\rho_p = 2000 \text{ kg/m}^3$) di distribuzione dimensionale data da:

Distrib. dimensionale	D_p [μm]	Peso [mg]
	0.5	25
	1	125
	5	100
	10	75
	20	30
	50	5

da una portata di aria ($Q = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, $T = 298 \text{ K}$, $p = 1 \text{ atm}$).

1. Dimensionare il ciclone Swift utilizzando le formule per il dimensionamento pratico dei cicloni, sapendo che la potenza disponibile in impianto per movimentare il flusso di aria è pari a 15 kW .
2. Calcolare l'efficienza complessiva del ciclone.
3. Dimensionare un precipitatore elettrostatico piastra piastra in modo da avere il 99.9 % di abbattimento complessivo per particelle da $1 \text{ }\mu\text{m}$ sapendo che la tensione disponibile in impianto è pari a $V = 2 \cdot 10^5 \text{ V}$ assumendo che le particelle acquisiscano una carica per unità di superficie pari a $q = 9.5 \cdot 10^{-5} \text{ C/m}^2$.
4. Calcolare l'efficienza complessiva dell'ESP.

7

Calcolare le perdite di carico lungo una tubazione orizzontale utilizzata per il trasporto pneumatico di particelle di carbone.

Caratteristiche del gas di trasporto			
Massa molecolare	MM	28.9	$[kg/kmol]$
Pressione	p	$1.0 \cdot 10^5$	$[Pa]$
Temperatura	T	288	$[K]$
Viscosità	μ	$1.80 \cdot 10^{-5}$	$[Pa \cdot s]$
Densità	ρ	1.21	$[kg/m^3]$
Caratteristiche del particolato			
Densità	ρ_p	1400	$[kg/m^3]$
Diametro	D_p	$2.90 \cdot 10^{-4}$	$[m]$
Caratteristiche del condotto			
Lunghezza	L	1.5	$[m]$
Diametro	D	$2.30 \cdot 10^{-2}$	$[m]$
Area	A	$4.15 \cdot 10^{-4}$	$[m^2]$
Portate			
Fluido	W_g	0.03	$[kg/s]$
Particella	W_s	0.58	$[kg/s]$