

PROBLEMI EVAPORATORI

PROBLEMA 1

Una portata di 1000 kg/h di una soluzione di un sale inorganico viene concentrata dal 3% in massa al 12 % in massa in un evaporatore operante alla pressione $\Pi = 1$ atm.

La soluzione viene immessa nell'evaporatore alla temperatura di 90°C.

Si utilizza vapore di rete saturo secco alla pressione di $\Pi_{VR} = 3$ ata.

Disegna l'evaporatore secondo norme UNICHIM e completa lo schema con tutti i dati del problema.

Considerando unitari i calori specifici della soluzione a qualunque concentrazione e trascurabili sia l'innalzamento ebullioscopico sia le dispersioni di calore verso l'esterno, si calcoli:

1. portata oraria di concentrato;
2. quantità oraria di acqua da allontanare (P) in kg/h e m³/h;
3. portata oraria di vapore di rete (V_R) in m³/h;
4. la superficie media di scambio termico (A) considerando per l'evaporatore un coefficiente globale di scambio termico $U_{dEV} = 530$ in kcal/h m² °C;
5. potenzialità specifica dell'evaporatore (P/A);
6. efficienza del concentratore (P/V_R).

PROBLEMA 2

Una soluzione acquosa di una sostanza termolabile dev'essere concentrata in un evaporatore a singolo effetto operante in depressione.

Prima di essere immessa nel concentratore la soluzione, che si trova inizialmente a temperatura ambiente (20°C), viene preriscaldata fino alla temperatura di ebollizione utilizzando due scambiatori di calore posti in serie: il primo (E_1) alimentato, in controcorrente, con il concentrato che si raffredda di 40°C , il secondo (E_2) alimentato con vapore di rete.

Sono noti i seguenti dati:

- ☞ portata della soluzione da concentrare $F = 7800 \text{ kg/h}$;
- ☞ concentrazione della soluzione in entrata 6% ;
- ☞ concentrazione della soluzione in uscita dall'evaporatore 15% ;
- ☞ pressione di esercizio dell'evaporatore $0,3 \text{ kg/cm}^2 \text{ ass.}$ (potrei indicare il vuoto, allora la pressione di esercizio la otterrei per differenza a 1 atm);
- ☞ vapore di rete saturo secco (V_R) alla pressione di $0,5 \text{ at}$;
- ☞ acqua di raffreddamento disponibile alla temperatura di 15°C ;
- ☞ temperatura dell'acqua allo scarico nel condensatore barometrico 30°C ;
- ☞ i coefficienti globali delle tre unità di scambio termico sono rispettivamente $U_{E1} = 700$ $U_{E2} = 1250$, $U_{E3} = 590$ in $\text{W} / \text{m}^2 \text{ K}$.

Per il calcolo in prima approssimazione, si considerino unitari i calori specifici della soluzione a tutte le concentrazioni e si considerino trascurabili sia l'innalzamento ebullioscopico sia le dispersioni di calore verso l'esterno.

Disegna uno schizzo dell'impianto e raccogli in due tabelle le caratteristiche dei vapori P e V_R (Π , $t^{\circ}\text{C}$, V_s , H_{totale} , $H_{\text{condensazione}}$)

Si calcoli:

1. il consumo orario complessivo di vapore di rete (preriscaldamento + evaporatore);
2. il risparmio percentuale di vapore che si realizza recuperando calore dal concentrato;
3. la portata d'acqua industriale di raffreddamento (m^3/h) da inviare al condensatore;
4. le superfici medie di scambio termico delle tre unità;
5. la potenzialità specifica dell'evaporatore;
6. l'efficienza del concentratore espressa come $\text{kgP}/\text{kg } V_R$.

Disegna uno schizzo dell'impianto e raccogli in due tabelle le caratteristiche dei vapori P e V_R .

PROBLEMA 3

Una portata di 2,8 L/s di una soluzione acquosa dev'essere concentrata dal 5,5% in massa al 12,8% in massa in un impianto di concentrazione a singolo effetto operante ad un vuoto del 40%. Per questo motivo, prima di essere immessa nell'evaporatore viene riscaldata dalla temperatura ambiente a cui si trova fino a quella di ebollizione.

L'impianto di riscaldamento è costituito da tre scambiatori di calore a fascio tubero posti in serie. Nel primo scambiatore (E_1) la soluzione recupera calore, in controcorrente, dal concentrato che, disponibile alla temperatura di ebollizione, viene raffreddato fino alla temperatura di 35 °C.

Nel secondo scambiatore (E_2) si recupera calore da una portata di 1,6 kg/s di un liquido ($C_{pL}= 2,18$ kJ/kg K) proveniente da un altro processo, disponibile alla temperatura di 371 K e che, in controcorrente, viene raffreddato fino a 325 K.

Infine, nel terzo scambiatore (E_3), la soluzione viene portata alla temperatura desiderata utilizzando vapore di rete.

Sono disponibili i seguenti fluidi di servizio:

- ☞ vapore di rete saturo secco alla pressione di 2 ate;
- ☞ acqua industriale di raffreddamento disponibile alla temperatura di 16 °C.

Con i dati a disposizione si calcoli:

1. il consumo orario totale di vapore di rete in m^3/h ;
2. il risparmio percentuale di vapore che si realizza attuando i due recuperi termici;
3. le superfici medie di scambio termico dei tre scambiatori (E_1 , E_2 , E_3) e dell'evaporatore (E_4) sapendo che nelle condizioni descritte i coefficienti globali di scambio termico valgono rispettivamente:
 $U_{dE_1}= 900$, $U_{dE_2}= 850$, $U_{dE_3}=1920$, $U_{dE_4}=640$ W/ m^2 K;
4. la portata d'acqua da inviare al condensatore barometrico, se la temperatura di acqua allo scarico è quella di equilibrio (quella del vapore che si condensa).
5. la potenzialità specifica dell'evaporatore;
6. l'efficienza del concentratore espressa come kgP/kg VR.

Per il calcolo si ritengano trascurabili sia le dispersioni di calore verso l'esterno sia gli innalzamenti ebullioscopici e per la soluzione si consideri, a qualunque concentrazione, la densità $d_s= 1$ kg/ dm^3 e il calore specifico medio $C_{p_s}= 4,186$ kJ/kg K.

Disegna uno schizzo dell'impianto e raccogli in due tabelle le caratteristiche dei vapori P e V_R .

PROBLEMA 4

Una portata di $9 \text{ m}^3/\text{h}$ di una soluzione acquosa dev'essere concentrata dal 6% in massa al 14% in massa in un impianto di concentrazione a singolo effetto operante ad un vuoto di 494 mmHg. Per questo motivo, prima di essere immessa nell'evaporatore viene scaldata dalla temperatura di $18 \text{ }^\circ\text{C}$ fino a quella di ebollizione.

L'impianto di riscaldamento è costituito da tre scambiatori di calore a fascio tubiero posti in serie.

Nel primo scambiatore (E_1) la soluzione recupera calore in controcorrente dal concentrato che, disponibile alla temperatura di ebollizione, si raffredda di 40°C .

Nel secondo scambiatore (E_2) si recupera calore in controcorrente da una portata di $1,5 \text{ kg/s}$ di un liquido ($c_{smL} = 2,40 \text{ kJ/kg }^\circ\text{K}$), proveniente da altro processo, disponibile alla temperatura di $368 \text{ }^\circ\text{K}$ e che viene raffreddato fino a $324 \text{ }^\circ\text{K}$.

Nel terzo scambiatore (E_3) la soluzione viene portata alla temperatura desiderata utilizzando vapore di rete saturo secco alla pressione di 2 ate.

Con i dati a disposizione determinare:

1. il consumo orario totale di vapore di rete (preriscaldamento + evaporatore) in m^3/h ;
2. il risparmio percentuale di vapore che si realizza attuando i due recuperi termici;
3. le superfici medie di scambio dei tre scambiatori (E_1 , E_2 , E_3) e dell'evaporatore (E_4) sapendo che nelle condizioni di esercizio descritte i coefficienti globali di scambio valgono rispettivamente:

$$U_{d(E_1)} = 950 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \quad - \quad U_{d(E_2)} = 850 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \quad - \quad U_{d(E_3)} = 1720 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K} \quad - \quad U_{d(E_4)} = 680 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{K}$$

4. la portata d'acqua, disponibile alla temperatura di 15°C , da inviare al condensatore barometrico, se la temperatura dell'acqua allo scarico è quella di equilibrio.
5. la potenzialità specifica dell'evaporatore;
6. l'efficienza del concentratore espressa come kgP/kg VR .

Per il calcolo si ritengano trascurabili le perdite di calore e per la soluzione acquosa si considerino la densità $d_s = 1 \text{ kg/dm}^3$ e il calore specifico medio $c_{sm_s} = 1 \text{ kcal/kg }^\circ\text{C}$ a qualunque concentrazione.

Disegna uno schizzo dell'impianto e raccogli in due tabelle le caratteristiche dei vapori P e V_R .