

REACTEURS

SYNTHESE DU METHANAL (FORMALDEHYDE)

A) PRINCIPE DU PROCEDE

Industriellement le méthanal (formaldéhyde ou formol) est obtenu par déshydrogénation/oxydation du méthanol selon les réactions homogènes en phase gazeuse:



Ces deux réactions principales sont accompagnées d'une réaction secondaire d'oxydation du méthanol en dioxyde de carbone et en eau selon la réaction:



La réaction (1) est endothermique alors que les réactions (2) et (3) sont exothermiques.

Ces trois réactions en phase gazeuse se produisent simultanément dans un réacteur catalytique (R) à faisceau tubulaire vertical fonctionnant sous une pression voisine de la pression atmosphérique.

Le catalyseur à base d'argent est placé dans les tubes.

Le réacteur (R) est alimenté en continu par un mélange gazeux formé d'air, de méthanol et de vapeur d'eau surchauffée, à la température $T_0 = 600^\circ\text{C}$.

La masse réactionnelle circulant dans les tubes est maintenue à la température T_0 par refroidissement à l'aide d'un thermofluide circulant à contre-courant hors des tubes.

B) BILANS MATIERE

Compléter le tableau du document annexe en calculant:

- les titres molaires de chacun des constituants du mélange alimentant le réacteur (R)
- les débits masse horaire de chacun des constituants du mélange alimentant le réacteur (R)
- le débit masse horaire du mélange alimentant le réacteur (R)

Calculer le nombre de moles de méthanol consommées par heure par chacune des réactions (1), (2) et (3)

Calculer le débit molaire horaire d'eau dans le mélange sortant du réacteur (R)

Calculer le taux de conversion du méthanol et le rendement en méthanal (exprimé par rapport au méthanol engagé).

C) BILAN ENERGETIQUE

1) Calculer la variation d'enthalpie du système réactionnel résultant du déroulement simultané des réactions (1), (2) et (3) sur un intervalle de temps d'une heure.

2) En déduire le flux de chaleur à éliminer si l'on veut que le réacteur (R) fonctionne en régime isotherme.

3) Le thermofluide utilisé pour refroidir le réacteur R pénètre dans la calandre du réacteur à la température $T_E = 100\text{ °C}$ et en ressort à la température $T_S = 275\text{ °C}$. En déduire le débit masse horaire de thermofluide mis en oeuvre.

4) Calculer la surface d'échange thermique nécessaire entre le thermofluide et la masse réactionnelle circulant dans les tubes.

5) La chaleur évacuée du réacteur par le thermofluide est utilisée pour produire de la vapeur **de** chauffe sous une pression effective de 8 bars. L'eau alimentant la chaudière utilisée pour produire cette vapeur pénètre dans celle-ci à la température $T = 70\text{ °C}$.

Calculer le débit masse horaire de vapeur produite si l'on suppose que toute la chaleur reçue par le thermofluide dans le réacteur est cédée par celui-ci dans la chaudière.

C) ***DIMENSIONNEMENT DU REACTEUR***

Le faisceau tubulaire du réacteur (R) est formé de N tubes identiques de diamètre intérieur $d = 25$ mm et de longueur L.

1) Calculer le nombre N de tubes devant constituer le faisceau si l'on veut que la vitesse de circulation du mélange réactionnel à l'entrée des tubes soit de 30 m/s.

2) Calculer la longueur L de chaque tube

3) Le rapport entre la surface totale S_t des sections droites des tubes du faisceau et la section S_C de la calandre est égal à 0,34. En déduire le diamètre D de la calandre du faisceau tubulaire constituant le réacteur.

4) Quelle sera la vitesse de circulation du thermofluide dans la calandre.

DONNEES

Pression des gaz en entrée : $P_0 = 1,013$ bar

Enthalpies des réactions (1), (2) et (3) à $T = 600$ °C

| Réaction | Enthalpie à 600°C (kJ/mol) |
|----------|----------------------------|
| (1) | $\Delta H_1^0 = 92$ |
| (2) | $\Delta H_2^0 = -155$ |
| (3) | $\Delta H_3^0 = -672$ |

Masses molaires

| Corps pur | CH ₃ OH | HCHO | H ₂ | H ₂ O | CO ₂ | N ₂ | O ₂ | |
|-----------|--------------------|------|----------------|------------------|-----------------|----------------|----------------|--|
| M g/mol | 32 | 30 | 2 | 18 | 44 | 28 | 32 | |

Capacités calorifiques massiques en $\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

eau (état liquide) : 4,18

thermofluide : 2,40

Chaleur latente de vaporisation de l'eau à t °C : $2535 - 2,9t$ kJ.kg^{-1}

Relation liant la pression absolue (bar) et la température d'ébullition de l'eau (°C) : $p = (t/100)^4$

Coefficient global d'échange thermique rapporté à la surface intérieure des tubes :

$$U = 350 \text{ kJ.m}^{-2}.\text{K}^{-1}.\text{h}^{-1}$$

Masse volumique du thermofluide : $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$

SYNTHESE DU METHANAL

DOCUMENT ANNEXE

Courants entrants et sortant du réacteur

| Constituant | Courant entrant | | | Courant sortant | |
|--------------------|---------------------|---------------|--------------|---------------------|--------------|
| | Débit (mol/h) | Titre molaire | Débit (kg/h) | Débit (mol/h) | Débit (kg/h) |
| CH ₃ OH | 200 10 ³ | | | 28 10 ³ | |
| HCHO | 0 | | | 166 10 ³ | |
| O ₂ | 90 10 ³ | | | 0 | |
| CO ₂ | 0 | | | 6 10 ³ | |
| H ₂ | 0 | | | 4 10 ³ | |
| N ₂ | 340 10 ³ | | | | |
| H ₂ O | 380 10 ³ | | | | |
| Total | | | | | |