**QUESTÃO 1 (30 min; 25 %):** Dimensionar o processo do fluxograma abaixo.

**Finalidade do Processo:** aproveitar **240 mol/h** de uma corrente constituída do composto **A** para a produção de outro **(C)**, de preço mais elevado, através da reação **A + B --> C.** O processo sugerido na etapa de Síntese encontra-se representado pelo fluxograma abaixo, onde as vazões estão em **mol/h** e as temperaturas em **oC**.

A6=A4: B6=B4: T6

A5=A4

B5=B4

C5=C4

**T5\* = 80**

A4

B4

C4

T4

A3=A2

B3=B2

**T3\* = 100**

**A1 \*= 240**

**B1**

**T1\* = 25**

A2

B2

T2

**γ\* = 0,4**

**λ\*** **= 0,60kWh/kmol**

C7=C4  
T7

Os reagentes entram pela corrente 1 e recebem a corrente 6 de reciclo. A corrente 2 é aquecida por um trocador de calor a uma temperatura **T3\*** e ingressa no reator.

No reator, a reação, que é exotérmica, ocorre com uma conversão por passe **γ\*** com um calor de reação **λ\***.

O efluente do reator, corrente 4, é resfriado por um trocador de calor a uma temperatura **T5\*** e ingressa numa torre de destilação que separa completamente o produto **C** do restante dos reagentes.

Para evitar a proliferação de variáveis e equações, **os** **balanços materiais triviais dos trocadores e da torre foram omitidos.** Daí as vazões da corrente 6 serem A4 e B4 e da corrente 7 ser C4..

Os modelos dos equipamentos estão listados adiante. São omitidos os modelos dos trocadores admitindo que eles já existam na fábrica e não precisam ser dimensionados. O modelo interno da torre é representado diretamente pela diferença T7 – T6.

**Dados**:

**T1 = 25 oC : T3 = 100 oC : T5 = 80 oC**

**γ = 0,4 : λ** **= 0,60 kWh/kmol : q = 240 L/h : k = 5 : w = 30**

**(WCp das correntes) : x1 = 33 : x2 = 40,5 : x4 = 31,2 : x6 = 26,4 : x7 = 4,8**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Cp Cp** | **CpA** | **CpB** | **CpC** |
| **(kWh / kmol oC)** | 0,050 | 0,035 | 0,020 |

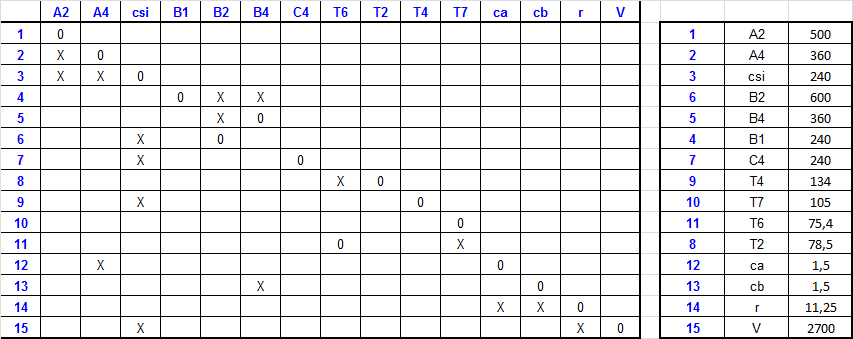
**MODELO**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | A2 – **A1 / γ** = 0 |  | **9** | x2 **T3** - x4 T4 + **L** csi = 0 |
| **2** | A4 - (1 - **γ**) A2 = 0 |  | **10** | x4 **T5** - x7 T7 - x6 (T7 - w) = 0 |
| **3** | A2 - A4 - csi = 0 |  | **11** | T7 - T6 - w = 0 |
| **4** | B1 + B4 - B2 = 0 |  | **12** | ca - A4/**q** = 0 |
| **5** | B4 – (1 – **γ**) B2 = 0 |  | **13** | cb - B4/**q** = 0 |
| **6** | B2 – csi / **γ** = 0 |  | **14** | r -**k** ca cb = 0 |
| **7** | - C4 + csi = 0 |  | **15** | V – r csi = 0 (csi – V r = 0) |
| **8** | x1 **T1** + x4 T6 – x2 T2 = 0 |  |  |  |

A expressão 15 para o cálculo do Volume está errada. A expressão correta é a que está entre parênteses. Vale o que está escrito.

**MATRIZ INCIDÊNCIA**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **A2** | **A4** | **csi** | **B1** | **B4** | **B2** | **C4** | **T6** | **T2** | **T4** | **T7** | **ca** | **cb** | **r** | **V** |  | **Eq** | **Var** |
| **1** | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **2** | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **3** | \* | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **4** |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **5** |  |  |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **6** |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **7** |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **8** |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **9** |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **10** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |
| **11** |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |
| **12** |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |
| **13** |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |
| **14** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |  |  |
| **15** |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |  |

****

**O valor correto de V é 21. Vale o que está escrito.**

**QUESTÃO 2 ( 25 %) (30 min):** Estabelecer uma seqüência de cálculo para a simulação do processo abaixo pelo procedimento modular. Apresentar a seqüência sob a forma de um algoritmo estruturado com vistas à sua execução por computador. A corrente 1 é a única conhecida.

|  |  |
| --- | --- |
|  | São identificados 4 ciclos: [2,3], [4,5], [4, 6, 7] e [ 2,4 8].  As correntes de abertura são 4 (óbvia) e 2 ou 3.  Escolhendo 2:  Abrir C2  Repetir  Abrir C4  Repetir  Simular D  Simular C  Simular B  Até Convergir C4  Simular A  Até Convergir C2  Outros algoritmos podem ser gerados: abrir C4 e depois C2; abrir C3 e depois C4; abrir C4 e depois C3. |

**QUESTÃO 3 ( 50 %) (60 min):** Uma corrente de processo, com uma vazão **W1 = 10.000 kg/h**, deve ser resfriada de **T1 = 200 oC** até **T2 = 100oC**. Deve-se empregar um líquido refrigerante que se encontra a uma temperatura **T3 = 30oC**. O desempenho do trocador deve ser medido pela seguinte função custo:

**C = 0,0864 W3 + 165 A 1/2 $/a**.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Fluxograma** | **Modelo** | **Parâmetros** |
| T3  T1  T2  T4 | **1.** Q - U A δ = 0  **2.** δ - [(T1 - T4 ) + (T2 - T3)]/2 = 0  **3.** Q - W1 Cp (T1 - T2) = 0  **4.** Q - W3 Cp (T4 – T3 ) = 0 | U = 700 kcal/h m2 oC Cp = 1 cal/g oC |

**(a)** calcular a área de troca térmica **A m2** e a vazão **W3 kg/h** de líquido refrigerante e o **Custo Anual** para o caso de se estipular a temperatura de saída deste líquido em **T4 = 150 oC**, como meta de projeto.

Situação semelhante à da Fig. 3.25 do Livro.

Balanço de Informação: G = 0.

Resolução direta: W3 = 8.333 kg/h e A = 24 m2.

**(b)** a qual dos dois parâmetros a área e a vazão de água se mostram mais sensíveis?

Situação semelhante à da Fig. 3.36 do Livro.

Redimensionando com U = 707 e Cp = 1: W3 = 8.333 kg/h e A = 23,16 m2. S (W3,U) = 0 e S (A,U) = -0,99.

Redimensionando com U = 700 e Cp = 1,01: W3 = 8.333 kg/h e A = 24,24 m2. S(W3,U) = 0 e S(A,U) = 1.

Conclusão: W3 é insensível à incerteza sobre os dois parâmteros; a área é mais sensível a Cp.

Obs.: a insensibilidade de W3 a U já é conhecida do exemplo do livro. Aqui, a insensibilidade em relação a Cp decorre do mesmo valor de Cp para os dois fluidos.

Por curiosidade, Sensibilidade pelas derivadas:

Equações ordenadas:

1. δ = 59,4 oC
2. Q = W1 Cp (T1 – T2)
3. W3 = Q/ [Cp (T4 – T3)] = W1 Cp (T1 – T2) / [Cp (T4 – T3)] = W1 (T1 – T2) / [(T4 – T3)] (independe de Cp e U).
4. A = Q / U δ = W1 Cp (T1 – T2) / U δ

S(A, Cp) = (∂A/∂Cp) (Cpb/Ab) = [W1 (T1 – T2) / U δ] [1/ 24] = 1

S(A, U) = (∂A/∂U) (Ub/Ab) = [W1 Cp (T1 – T2) / (- U2 δ] [700/ 24] = - 1

**(c)** quais seriam os valores de **A**, de **W3** e do **Custo Anual** caso não houvesse sido estipulada uma meta de projeto para T4. Mostre que o problema se transforma numa otimização e que a variável de projeto mais adequada é a própria **T4** .

A incorporação do modelo matemático à função custo resulta em

**C = 86.400 / (T4 – 30) + 8.820 / (270 – T4)1/2**.

O valor ótimo de T4 se encontra entre **167 oC e 172 oC** , e pode ser buscado pelo Método da Seção Áurea com uma tolerância de **1 oC** .

Situação semelhante à da Fig. 5.20 do Livro.

Balanço de Informação: G = 1. (Problema de otimização).

Algoritmo de Ordenação de Equações: resulta T4 como variável de projeto.

Seção Áurea: após calcular cinco vezes a Função Objetivo, o intervalo de busca fica reduzido a 170,4 – 169,6 = 0,7 < 1. O valor de T4 “sobrevivente” é 169,9oC.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **N** | **Li** | **xi** | **Fi** | **xs** | **Fs** | **Ls** | **** |
| 2,0 | 167,0 | 168,9 | 1.499,2 | 170,1 | 1.499,1 | 172,0 | 5,0 |
| 3,0 | 168,9 | 170,1 | 1.499,1 | 170,8 | 1.499,2 | 172,0 | 3,1 |
| 4,0 | 168,9 | 169,6 | 1.499,2 | 170,1 | 1.499,1 | 170,8 | 1,9 |
| 5,0 | 169,6 | 170,1 | 1.499,1 | 170,4 | 1.499,2 | 170,8 | 1,2 |
| 6,0 | 169,6 | 169,9 | 1.499,1 |  |  | 170,4 | 0,7 |

**(d)** comparar os resultados obtidos em **(a)** e **(c)**

Resolução com **T4 = 150** : W3 = 8.333 kg/h : A = 24 m2 : **C= 1.507,8**

Solução ótima: **T4 = 169,9** : W3 = 7.143 kg/h : A = 30,3 m2 :  **C = 1.499,1 $/a.**

A especificação de T4 = 150 acarreta um Custo apenas 1% maior do que o ótimo. Há uma pequena redução no consumo de água às custas de um pequeno aumento na área de troca térmica.