2019 kjn kjn

WYCIEP projekt 2

# ZADANIE 1

Przez rurociąg wykonany ze stali węglowej (0,15% C) o średnicy wewnętrznej dw [m] i zewnętrznej dz=dw+0,008 [m] oraz długości L [m] przepływa woda [ton/dobę] o temperaturze wlotowej Tw [K]. Rurociąg jest umieszczony w hali produkcyjnej, w której panuje stała temperatura powietrza równa Tp [K]. Określić straty cieplne i temperaturę wylotową cieczy w zależności od natężenia masowego przepływu w zakresie liczby Reynoldsa Re=100-105. Rozwiązanie podać w formie wykresu.

# Analiza problemu

Problem przedstawiony w zadaniu polega na wyznaczeniu temperatury wylotowej, którą mamy uzależnić od natężenia masowego przepływu w zakresie liczby Reynoldsa Re=100- 105. W zadaniu mamy powiedziane, że przez rurociąg przepływa woda, więc mamy do czynienia z mechanizmem konwekcyjnym. Wewnątrz rurociągu występuje konwekcja wymuszona, ponieważ występuje ruch płynu, natomiast w jego otoczeniu- swobodna, gdyż powietrze tylko otacza rurociąg i jest to ruch samoistny.

Ciepło jakie niesie ze sobą ciecz przenika przez ścianki (zakładam ze rurociąg jest ze stali 0.15% C- [2] Gogół tablica 4.1 str.53) – na początku zachodzi wnikanie od płynu do ścianki, później przewodzenie wewnątrz ścianki a na końcu wnikanie ze ścianki do powietrza.

W zależności od konwekcji liczba Nusselta jest funkcją liczb: Reynoldsa i Prandtla dla wymuszonej, Prandtla i Grashofa dla swobodnej. Liczbą Nusselta nazywamy stosunek szybkości wnikania ciepła do szybkości przewodzenia ciepła. Liczba Reynoldsa to siły bezwładności przez siły tarcia. Liczba Prandtla to siła molekularnego przenoszenia pędu przez szybkość przewodzenia ciepła. Liczba Grashofa to siła wyporu powstała na skutek różnicy temperatur przez siły tarcia. Są to liczby kryterialne.

# Koncepcja rozwiązania

* Własności fizykochemiczne cieczy są zależne od temperatury
* Wewnątrz rurociągu występuje konwekcja wymuszona
* Pole temperatur jest ustalone
* Temperatura ścianki wielkością stalą na całej długości rurociągu

### Zakładam temperaturę wylotową, a następnie obliczam temperaturę średnią :

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Tsr=(Tw-Twylot)/2 |  |

Tw – temperatura wlotowa wody

Twylot – założona temperatura wylotowa wody

Następnie korzystając z tabel zawartych w książce Wiesława Gogóła „Wymiana ciepła – tablice i wykresy” interpoluję potrzebne wielkości fizykochemiczne w Excelu.

ρ – gęstość wody[kg/m3]

μ – lepkość dynamiczna wody[Pa\*s]

Cp– ciepło właściwe wody [J/(kg\*K)]

λ– współczynnik przewodzenia ciepła wody

### Obliczam prędkość przepływu wody:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Re=(u\*dw\*ρ)/μ => u=(Re\*μ)/(dw\*ρ) |  |

Re- Liczba Reynoldsa w zakresie 100<Re<105

μ– lepkość dynamiczna wody [Pa\*s]

ρ – gęstość wody [kg/m3]

dw– średnica wewnętrzna rury [m]

### Obliczam natężenie masowe przepływu:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | m[kg/s]=(u\*ρ\*π\*dw^2)/4 |  |

### Z bilansu entalpowego obliczam natężenie przepływu:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Q=m\*Cp\*(Tw-Twylot) |  |

m [kg/s] – natężenie masowe przepływu

Cp [J/(kg\*K)] – ciepło właściwe wody

Tw [K] – temperatura wlotowa wody

Twylot [K] – założona temperatura wylotowa wody

Następnie interpoluję liczbę Prandtla oraz zakładam temperaturę ścianki rurociągu.

### Następnie korzystając z odpowiedniej korelacji dla określonego przepływu obliczam liczbę Nusselta:

a) przepływ laminarny (Re<2000). Długość rury wywiera duży wpływ – ze wzrostem długości rury średnia wartość α zmienia się (Hobler str.195):

Nu = 1.86\*((Pr\*Re\*dw/L)^(1/3))\*((μ/μs)^0.14)

b) przepływ przejściowy (2000<Re<10000) Gogół tablica 6.1 str.102:

Nu = K0 \* Pr^0,43 \* (Pr\*λsc / Cpsc\*μsc)^0,25

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Re\*e-3 | 2,2 | 2,3 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| K0 | 2,2 | 3,6 | 4,9 | 7,5 | 10 | 12,2 | 16,5 | 20 | 24 | 27 | 30 | 33 |

c) przepływ burzliwy (Re>10000 i 0,7<Pr<16700):

Nu = 0,023 \* Re^0,8 \* Pr^0,33 \* (μ/μsc)^0,14

### Następnie znając liczbę Nusselta obliczam współczynnik wnikania ciepła αw.

Nu = (αw\*dw)/λ => αw=(Nu\*λ)/dw

Nu – liczba Nusselta dla przepływu

λ [W/(m\*K)] – współczynnik przewodzenia ciepła wody

dw [m] – średnica wewnętrzna rury

### Obliczam właściwą temperaturę ścianki z bilansu cieplnego:

Q = αw \* π \* dw \* L \* (Tsr - Tścianki) => Tścianki = Tsr - Q/(αw \* π \* dw \* L)

Q [W] – strumień ciepła

dw [m] – średnica wewnętrzna rury

L [m] – długość rury

Tśr [K] – średnia temperatura wody w rurze

Jeżeli wartość założona nie zgadza się z obliczoną podstawiam znowu temperaturę i obliczam do momentu aż założona i wyliczona będą się zgadzały

Obliczam temperaturę zewnętrzną rury z bilansu cieplnego:

Q/L=k\*ΔT=ln(dz/dw)\*(Tścianki - Tść.zew)/(2\*π\*λstali)

Tść.zew=Tścianki - Q/L \* (ln(dz/dw)/(2\*π\*λstali))

λstali [W/(m\*K)] – współczynnik przewodzenia stali (0,15% C)

dz [m] – średnica zewnętrzna rury

dw [m] – średnica wewnętrzna rury

Tścianki [K] – temperatura wewnętrzna ścianki

Q [W] – strumień ciepła

L– długość rury

### Obliczam temperaturę warstwy przyściennej jako średnią powietrza i odczytuję dane fizykochemiczne:

Tpśr = (Tść.zew + T)/2

ρ [kg/m3] – gęstość powietrza

μ [Pa\*s] – lepkość dynamiczna powietrza

Cp [J/(kg\*K)] – ciepło właściwe powietrza

λ [W/(m\*K)] – współczynnik przewodzenia ciepła powietrza

Pr [-] - liczba Prandtla

### Obliczam liczbę Grashofa:

Gr = (g \* dz^3 / v^2) \* β \* ΔT = (g \* dz^3 / (μ/ρ)^2) \* (Tść.zew -Tp)/Tp

β - współczynnik rozszerzalności termicznej

g [m/s] – przyspieszenie ziemskie

dz [m] – średnica zewnętrzna rury

ρ [kg/m3] – gęstość powietrza

μ [Pa\*s] – lepkość dynamiczna powietrza

Tść.zew. [K] – temperatura zewnętrznej ścianki rury

Tp [K] - temperatura powietrza

### Korzystając z odpowiedniej korelacji dla określonego przepływu obliczam liczbę Nusselta dla konwekcji swobodnej (wzór Michiejewa):

Nu = C \* (Gr \* Pr)^n

Stałe C i n zależą od:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Gr \* Pr | C | n |
| 10^-3 do 5\*10^2 | 1,18 | 1/8 |
| 5\*10^2 do 2\*10^7 | 0,54 | 1/4 |
| 2\*10^7 do 10^13 | 0,135 | 1/3 |

### Znając liczbę Nusselta dla powietrza obliczam współczynnik wnikania ciepła od zewnętrznej ścianki rury do powietrza αp.

Nu = (αp \*dz)/λpow => αp = (Nu \* λpow)/dz

### Obliczam współczynnik oporu R

R = 1/(αw \* dw \* π) + 1/(2\*π\*λstali)\*ln(dz/dw) + 1/(αp \* dz \* π)

αw [W/(m2\*K)] – współczynnik wnikania ciepła po stronie wody

αp [W/(m2\*K)] - współczynnik wnikania ciepła od zewnętrznej ścianki rury do powietrza

λstali [W/(m\*K)] – współczynnik przewodzenia stali ( 0,15% C)

dz [m] – średnica zewnętrzna rury

dw [m] – średnica wewnętrzna rury

