

Resumo

Neste trabalho apresentam-se os estudos hidrodinâmico, térmico e de sujamento efectuados numa conduta de secção recta quadrada de diâmetro hidráulico 24,25 mm.

O estudo hidrodinâmico foi realizado com uma mistura bifásica de ar e de água. Através das várias combinações de caudais ar/água observaram-se diversos comportamentos no regime de escoamento, na altura de líquido na conduta, nas velocidades médias do gás e do líquido, na velocidade e frequência das ondas de grande amplitude e na diferença de pressão entre dois pontos do escoamento. Nestes estudos identificaram-se dois regimes de escoamento, estratificado com ondas e semi-tubular. Em ambos, tanto a altura normalizada de líquido como a velocidade normalizada do gás diminuem linearmente com o caudal de gás enquanto que a velocidade do líquido normalizada aumenta linearmente. A velocidade e a frequência das ondas de grande amplitude aumentam tanto com o caudal de líquido como com o caudal de gás. A diferença de pressão entre dois pontos apresenta um carácter oscilatório ao longo do tempo. Para os caudais de líquido onde ocorre o regime estratificado com ondas, a amplitude aumenta com o caudal de gás, mas a frequência mantém-se constante. Para os restantes caudais de líquido (regime semi-tubular) a frequência e a amplitude aumentam com o caudal de gás.

No estudo térmico realizaram-se ensaios utilizando água e ar como fluido frio a diferentes caudais. Para ambos, calcularam-se os coeficientes globais de transferência de calor (U_0), os coeficientes peliculares convectivos (h_0) e a resistência da parede (R_p). Os coeficientes globais de transferência de calor e os coeficientes peliculares convectivos aumentam com o número de Reynolds tanto para o caso da água como do ar, sendo os valores para a água superiores aos do ar. As resistências de parede (R_p) são superiores nos provetes localizados na parte superior da conduta. A partir dos dados experimentais, foi desenvolvida uma correlação do tipo $h_0 = \alpha_{rect}^* Re^n$ que permite prever os coeficientes peliculares convectivos na conduta de secção recta quadrada. As constantes α_{rect}^* e n foram calculadas para os dois fluidos (ar e água) e os seus valores comparados com os da literatura, sendo de realçar uma boa concordância.

O estudo do sujamento consistiu num ensaio com um caudal de água $2,99 \times 10^{-3}$ m³/s e caulino em suspensão a uma concentração uniforme de 6 g/L. Este ensaio teve

Resumo

uma duração de 144 dias tendo-se diariamente determinado o coeficiente global de transferência de calor ($U_{\text{su}})$ e a resistência de sujamento (R_s) de cada um dos provetes em aço inox colocados na parede da conduta. No final do ensaio, determinou-se a massa de caulino depositada em cada um dos provetes e a espessura do depósito. Os valores dos coeficientes globais de transferência de calor (U_{su}), tanto nos provetes inferiores como nos superiores, mantiveram-se constantes até um determinado período de tempo, diminuindo de seguida bruscamente até atingirem um patamar. Através da análise da variação da resistência de sujamento com o tempo, concluiu-se que tanto os provetes inferiores como o superior apresentam o mesmo comportamento de sujamento (assimptótico). Contudo, nos provetes inferiores observou-se um tempo inicial em que a resistência total diminui, comportamento não observado no provete superior. No final do ensaio pesou-se a massa de caulino depositada nos provetes e mediu-se a sua espessura verificando-se que os provetes inferiores apresentavam depósitos elevados. A partir da espessura do depósito determinou-se a resistência de sujamento e compararam-se estes valores com os obtidos por medição das temperaturas. Os valores da resistência calculados pela medição das espessuras são superiores. O modelo de sujamento de Kern e Seaton (1959) foi ajustado aos valores experimentais das resistências de sujamento, sendo os resultados obtidos bastante satisfatórios.

Abstract

The present investigation is concerned with hydrodynamic, thermal and fouling studies carried out in a horizontal square section with an hydraulic diameter of 24,25 mm.

The hydrodynamic studies were performed with air-water two-phase flow. For different combinations of gas/liquid flows rates several behaviors were observed for the flow patterns, the liquid height inside the tube, the average gas and liquid velocities, the velocity and frequency of the roll waves and the pressure drop between two locations in the flow. In these studies two flow regimes were identified: wavy-stratified and pseudo-slug. For both, the dimensionless height of the liquid and the dimensionless gas velocity decrease linearly with increasing gas flow. The velocity, amplitude and frequency of the roll waves increase both with increasing gas and liquid flow rates. The pressure drop between two locations in the flow shows an oscillating behaviour with time. For those liquid flow rates studied where wavy-stratified flow occurs, the amplitude increases with gas flow, but the frequency is constant. For the liquid flow rates where there is pseudo-slug flow, both the frequency and the amplitude increase with gas flow.

For the thermal experiments air and water (single phase) were used at different flow rates. The overall heat transfer (U_0), the convection heat transfer coefficient (h_0) and the thermal resistance of the wall (R_p) were determined for both fluids. The overall heat transfer coefficients and the convective heat transfer coefficients increase with the Reynolds number for both the water and the air, but the coefficients for the water present higher values. The thermal resistances of the wall for the deposition plates located at the top of the tube are higher than for those at the bottom of the tube. Based on the experimental results, a correlation of the form $h_0 = \alpha_{rect}^* Re^n$ was developed to calculate convective heat transfer coefficients in the square section tube. The parameters α_{rect}^* and n were calculated for both fluids and when compared with values published in the open literature, there is a good agreement.

The fouling study was carried out for an aqueous suspension of kaolin at a concentration of 6 g/L and flowing at $2,99 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$. This experiments lasted for 144 days and the overall heat transfer coefficient and the fouling resistance for each one of the inox deposition plates located on the tube walls were determined on a daily basis. At the end of experiment, the mass of kaolin deposited on each plate was determined and

the thickness of the deposit was measured. Initially, the values of the overall heat transfer coefficients for the plates at the top and at bottom of the tube were constant, after which there was a sudden decrease followed by a plateau. By analyzing how the fouling resistance varies with time, it is possible to see that for both the plates at the top and at the bottom of the tube, the curve presents the same asymptotic behavior. However, for the bottom plates, there is an initial period where the overall heat transfer coefficient presents values higher than the value of U_0 at the beginning of the experiment. This behaviour was not observed in the top plate. After determining the mass of deposit on each plate and measuring its thickness it was observed that the bottom plates had a greater quantity of deposit. From the thickness of the deposits it was possible to determine the fouling resistances and compare these values with the ones obtained from temperature measurements. The values obtained from the thickness measurements are higher. The fouling model of Kern and Seaton (1959), when fitted to the experimental fouling data, gave a quite reasonable agreement.
