

ESTUDO DA ESTRUTURA DE ESCOAMENTO BIFÁSICO HORIZONTAL AR-ÁGUA EM REGIME ANULAR EMPREGANDO METODOS ÓPTICOS

Aluno: Pedro Gabriel Tavares Vieira
Orientador: Luis Fernando A. Azevedo

Introdução

Com o objetivo de ampliar o conhecimento acerca do escoamento multifásico, foi desenvolvida uma metodologia experimental para visualização e caracterização do escoamento bifásico ar-água em regime anular. A motivação do projeto foi inicialmente o estudo desse padrão de escoamento para detecção de soluções para problemas de corrosão e desgaste acelerado em tubulações, observados mais especificamente em dutos de refinarias de hidrocarboneto.

Esse escoamento caracteriza-se pela presença de um fino filme líquido escoando na parede do tubo. Já a fase gasosa escoar em alta velocidade na parte central da tubulação. A interface apresenta um perfil ondulatório que produz tensões cisalhantes elevadas com interface bastante turbulenta.

O aparecimento de ondas é comum nesse tipo de escoamento e a determinação da amplitude, frequência e velocidade dessas ondulações foram alvos também de nossos estudos.

A capacidade de entender e modelar o comportamento de escoamento multifásico é de suma importância e ainda apresenta muitos desafios, constituindo um vasto campo para pesquisas numéricas e experimentais.

Objetivos

Utilizando a técnica de Fluorescência Planar Induzida por Laser, PLIF (*Planar Laser Induced Fluorescence*), o objetivo do projeto foi desenvolver uma metodologia de visualização e caracterização do escoamento bifásico horizontal ar-água em regime anular e obter dados relevantes das características predominantes desse escoamento. A partir das imagens capturadas, em conjunto com um algoritmo computacional desenvolvido em MatLab, calculou-se a amplitude, velocidade, espaçamento e frequência de passagem das ondas.

Metodologia

Uma bancada experimental com diâmetro interno de 15.8mm e 4m de comprimento foi projetada a fim de possibilitar a visualização do escoamento no interior da seção de teste.

A aplicação da técnica PLIF será utilizada para viabilizar a visualização da interface ar-água. Essa técnica, aliada aos diferentes arranjos ópticos, permitiu a visualização do filme longitudinal e transversalmente. Pretende-se, com a imagem instantânea da seção reta da tubulação, aumentar o nível de informação sobre a formação do filme no regime anular.

O PLIF é uma técnica que necessita da iluminação do escoamento por um feixe monocromático de laser e se baseia no princípio da fluorescência. É inserido no fluido um componente fluorescente, Rhodamina, que ao ser iluminado pelo plano de luz verde do laser ($\lambda = 532 \text{ nm}$) emite luz em um comprimento de onda superior, o do vermelho. Para garantir que a câmera capture exclusivamente as informações referentes ao escoamento é utilizado um filtro que corta a luz verde permitindo que a câmera capture somente o comprimento de onda correspondente à da excitação.

Para solucionar os problemas da diferença de índice de refração entre os fluidos e o acrílico e problemas de curvatura da seção tubular, utilizou-se um tubo de FEP que possui o

mesmo índice de refração da água. Com isso, obteve-se a equivalência do índice de refração reduzindo as distorções ópticas das imagens.

Na parte inicial do projeto foram realizadas medições longitudinais do escoamento. Para tal, foi usando apenas uma câmera posicionada ortogonalmente ao eixo do tubo iluminado uma seção longitudinal do escoamento.

As imagens foram capturadas a uma frequência de 3 kHz com a Câmera IDT Motion Pro X3 e com o laser Nd-YLF da New Wave. Cada experimento realizado, caracterizado por um par de vazões de ar e água, foi composto por 13101 imagens, totalizando aproximadamente 4.4 segundos de escoamento. A frequência de 3 kHz apresentou bons resultados, conciliando alto detalhamento e um boa luminosidade das imagens.

Com o objetivo de eliminar os ruídos, definir a interface entre os fluidos, melhorar o contraste e binarizar as imagens, um procedimento de processamento automatizado das imagens foi desenvolvido no programa MatLab. Para realizar este procedimento, o programa realizava as seguintes tarefas: leitura das imagens binarizadas, identificação da fronteira gás-líquido em dois pontos para cada quadro das imagens capturadas, avaliação da frequência de passagem da onda através da análise de Fourier dos sinais e determinação da velocidade de propagação da onda pelo procedimento de correlação cruzada dos sinais.

Para a visualização estereoscópica do escoamento, duas câmeras digitais posicionadas a 45°, em relação ao eixo do tubo, observaram o escoamento em ângulo. Para a distorção da imagem, um alvo na forma de disco com uma malha de pontos conhecida foi introduzido no tubo para que um polinômio de distorção da imagem fosse calculado. A partir do processo de calibração as imagens da direita e da esquerda, capturadas em perspectiva, foram distorcidas e somadas reconstruindo a imagem transversal do escoamento.

Conclusões

Comparando os dados obtidos no presente experimento com as informações já apresentadas na literatura, chegou-se a novas conclusões acerca dos fenômenos característicos do escoamento anular bifásico. Notou-se com absoluta clareza a redução drástica do filme líquido com o aumento da velocidade superficial do gás. Além disso, para baixas vazões de gás notou-se uma maior amplitude das ondas. Para uma velocidade superficial líquida fixa, ao aumentar a velocidade superficial do gás, o espectro tendeu a distribuir a energia para frequências maiores de passagem de ondas e teve um comportamento de achatamento. Um aumento sistemático da velocidade da onda com o aumento da velocidade superficial do líquido e gás foi nítido.

Além disso, com a imagem instantânea da seção reta da tubulação, a partir da técnica de visualização estereoscópica, aumentou-se o nível de conhecimento sobre o fenômeno de formação do filme no regime anular.

Este trabalho dá início a uma linha de pesquisa no Departamento de Engenharia Mecânica da PUC-Rio voltada para a medição detalhada do escoamento bifásico utilizando técnicas ópticas.

Referências

- [1] Schubring D., Shedd T.A. Wave behavior in horizontal annular air-water flow. *International Journal of Multiphase Flow* 34, 2008, 636–646.
- [2] Rodríguez D. J., Shedd T.A. Cross-sectional imaging of the liquid film in horizontal two-phase annular flow. *ASME Heat Transfer/Fluids Engineering Summer Conference*, 2004.
- [3] Jayanti G., Hewitt G. F., White S. P. Time dependent behavior of liquid film in horizontal annular flow. *Int. J. Multiphase Flow* Vol. 16, No. 6, pp. 1097-1116, 1990.