

REINÍCIO DO ESCOAMENTO DE FLUIDOS GELIFICADOS EM OLEODUTOS

Aluno: Fernando Saint-Martin de A. Soares
Orientador: Paulo R. de Souza Mendes

Introdução

Um dos maiores obstáculos enfrentados quando lidamos com um óleo pesado é o seu transporte em dutos. Embora um escoamento contínuo e em regime permanente seja desejável, muitas vezes a interrupção temporária do bombeamento é necessária por razões operacionais ou até mesmo emergências. Após longos períodos de interrupção do escoamento, uma microestrutura forma-se e o óleo transforma-se em um gel, com comportamento mecânico semelhante a um corpo sólido.

Reiniciar o escoamento nestas condições quase sempre envolve alimentar o duto com outro fluido e bombeá-lo sob intensa pressão como forma de deslocar o óleo gelificado. O escoamento de reinício apresenta várias particularidades difíceis de serem compreendidas teoricamente. Normalmente existe um longo intervalo de tempo após a aplicação da pressão caracterizado por vazões extremamente baixas. Após esse primeiro estágio, cuja duração depende de inúmeras variáveis, o escoamento sofre forte aceleração e o óleo gelificado é rapidamente expulso do duto.

A complexidade desse problema chamou atenção de vários pesquisadores [e.g. 1, 2]. O foco da maioria da pesquisa que vem sendo feita nessa área está nos efeitos da compressibilidade do óleo que, quando associados à sua viscoplasticidade, são utilizados como justificativa para o retardo no início do escoamento. A história de cisalhamento do óleo não é tida como fator primordial.

O diferencial desse trabalho está em tratar o óleo gelificado como um fluido estruturado tixotrópico, i.e. a viscosidade é função do tempo de cisalhamento, obedecendo a um modelo de tixotropia recém-proposto [3]. Os resultados das simulações comprovam a capacidade da abordagem desenvolvida de prever os padrões de escoamento esperados.

Objetivos

Estudar o reinício do escoamento de óleos pesados gelificados através de simulações numéricas utilizando uma abordagem que leva em consideração o comportamento tixotrópico desses óleos.

Metodologia

O problema é representado por um tubo inicialmente totalmente preenchido por um fluido viscoplástico tixotrópico (fluido 2) que é gradualmente deslocado por um fluido injetado (fluido 1) sob a aplicação de uma pressão constante na entrada do tubo. O comportamento mecânico do fluido 2 obedece ao modelo recentemente proposto por Souza Mendes [3]. O fluido 1 é tratado como Newtoniano, embora a abordagem desenvolvida possa ser facilmente estendida para situações em que ambos os fluidos apresentam reologia complexa. Utiliza-se a hipótese de que os fluidos são incompressíveis.

A interface entre os fluidos é tratada como perfeitamente plana, de forma que ela se move com a velocidade média axial do escoamento \bar{U} . Essa hipótese é reforçada pela consistência do óleo gelificado e pela grande extensão dos dutos considerados. O fato de que os dutos normalmente são projetados para cobrir longas distâncias também justifica a hipótese

de que a região do escoamento afetada pela presença da interface é desprezível e o escoamento pode ser tratado como unidimensional. O princípio de conservação de massa sob essas hipóteses implica que os fluidos têm a mesma velocidade média axial $\overline{U}_1 = \overline{U}_2$.

Também se utiliza a hipótese de que o escoamento é "quasi-permanente", e portanto a tensão cisalhante varia linearmente com a coordenada radial. Isso torna a tensão cisalhante na parede τ_R suficiente para determinar a velocidade média axial.

O modelo de tixotropia empregado caracteriza o estado da estrutura do fluido através do parâmetro estrutural λ , diretamente relacionado à sua viscosidade. O avanço temporal desse parâmetro é determinado usando como referência o estado que a estrutura do fluido possuiria no regime permanente quando sob o nível de tensão instantâneo. Este estado de equilíbrio dinâmico é o mesmo que se impõe na determinação experimental da função viscosidade. O tempo de equilíbrio t_{eq} é o tempo característico de transição da estrutura para esse estado de equilíbrio.

O procedimento numérico envolve a criação de uma malha radial na qual os valores de taxa de cisalhamento em cada nó são integrados numericamente para a obtenção de \overline{U} . Em cada instante de tempo, as tensões cisalhantes na parede são determinadas de forma que a continuidade seja respeitada. Obtidos os valores de τ_{R1} e τ_{R2} , podemos utilizar as equações de conservação e as equações do modelo de tixotropia para calcular $d\overline{U}/dt$ e os valores de $d\lambda/dt$ para cada uma das posições radiais da malha. O sistema de equações diferenciais resultante é resolvido numericamente com as condições iniciais apropriadas até que a interface alcance o fim do tubo. Constatou-se que métodos implícitos têm melhor desempenho por causa da instabilidade das equações.

Conclusões

A abordagem desenvolvida nesse trabalho para lidar com o problema do reinício do escoamento de óleos gelificados oferece uma alternativa que evita métodos numéricos complexos. Além disso, o modelo utilizado para descrever o comportamento do óleo gelificado é versátil, podendo acomodar qualquer função de viscosidade. Ao contrário da maioria dos modelos presentes na literatura, não depende de correlações empíricas para o fator de atrito. Os resultados das simulações mostram o padrão de escoamento esperado, com um longo tempo de retardo até que velocidades apreciáveis sejam alcançadas. O aumento na pressão de entrada bem como a diminuição de t_{eq} diminuem esse tempo de retardo. Contudo, observou-se que baixos t_{eq} podem provocar grande retardo, mesmo com altos gradientes de pressão. Os modelos disponíveis na literatura, ignoram efeitos tixotrópicos no óleo, não são capazes de prever esse tipo de comportamento, o qual está em consonância com a física do problema. A abordagem desenvolvida permite que o padrão de escoamento esperado no problema de reinício de dutos com óleos gelificados seja previsto com maior generalidade, além de sugerir que as particularidades deste escoamento são consequência exclusivamente de propriedades intrínsecas do óleo ligadas à sua reologia.

Referências

- 1 - DAVIDSON, M. R., NGUYEN, Q. D., CHANG, C., RØNNINGSEN, H. P. A model for restart of a pipeline with compressible gelled waxy crude oil. **J. Non-Newtonian Fluid Mech.**, 123, 269-280, 2004
- 2 - VINAY, G., WACHS, A., FRIGAARD, I. A. Start-up transients and efficient computation of isothermal waxy crude oil flows. **J. Non-Newtonian Fluid Mech.**, 143, 141–156, 2007.
- 3 - DE SOUZA MENDES, P. R. Modeling the thixotropic behavior of structured fluids. **J. Non-Newtonian Fluid Mech.**, 164, 66–75, 2009.