

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

Análise e Controle da Repartida de Poços Operando por Injeção Contínua de Gás

AUTORES:

Carlos Alberto C. Gonzaga, Agostinho Plucênio, Júlio Elias Normey-Rico

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Análise e Controle da Repartida de Poços Operando por Injeção Contínua de Gás

Abstract

This paper approaches the gas-lift wells restart process. The work presents a automatic control strategy of the continuous gas-lift well restart process. The strategy relies on the steady-state relationship between two main process variables, the downhole pressure and the gas injection flowrate. The main objective is to maintain the downhole pressure close to its steady-state value depending of the gas flowrate being injected into the well and indirectly regulating the liquid flowrate at the tubing bottom. A control loop uses a switching PI controller acting on the production choke opening to suppress the high oscillations in the liquid flowrate.

Introdução

O processo de repartida de poços operando por injeção contínua de gás se enquadra entre os mais complexos presentes no ambiente da indústria de petróleo e gás. Numa repartida mal executada, o poço pode apresentar um comportamento oscilatório indesejável, denominada “golfada severas”, que leva à perda de produtividade e atrapalham o processo de separação, que ocorre a pressão constante; ao desgaste da estrutura do poço; ao shutdown do poço ou até da plataforma, significando perdas econômicas [1]. Apesar da complexidade da repartida, o número de trabalhos abordando o problema, tanto do ponto de vista de análise e modelagem, quanto do controle, é extremamente raro.

Atualmente, o procedimento de repartida na prática é realizado de forma manual, planejado seguindo um caráter conservativo, visando evitar o comportamento oscilatório durante a evolução até atingir seu ponto de operação. Baseando-se principalmente na experiência de quem o executa, a eficiência do procedimento tem um alto grau de dependência do operador. Tem-se presente uma grande variância também, pois diferentes operadores levarão a diferentes comportamentos, ou até o procedimento executado por um mesmo operador, pode apresentar variações.

O cenário ideal para este problema seria tal que a repartida apresentasse uma trajetória bem comportada até o ponto de operação. Se possível que ocorresse no menor tempo possível, dependendo apenas da natureza do processo e independente dos operadores envolvidos, e assim com menor possibilidade de variação na sua execução.

Metodologia

Podem-se destacar como o período crítico da repartida, o início do procedimento que corresponde à fase de expulsão do volume de líquido contido no tubo de produção, passando pela inicial “disputa” pelo espaço no fundo do tubo de produção do entre gás e líquido, até o equilíbrio das fases na mistura entrando no tubo de produção.

Pela a relação IPR [3], sabe-se que a pressão de fundo está diretamente ligada à quantidade de líquido que entra no tubo de produção. A estratégia de manter a relação de gás e óleo entrando no fundo do tubo de produção de forma a mantê-la o mais próximo possível do seu valor de equilíbrio se mostra apropriada. Desta forma, é proposta uma estratégia de controle que procure manter esta razão da quantidade de líquido e gás entrando no fundo do tubo de produção [2], mas que também seja capaz de amenizar os efeitos causados pelo período de transição, que refletem em golfadas na vazão de líquido. A estratégia é formulada utilizando um controlador do tipo PI (Proporcional-Integral). A estratégia pode ser dividida em dois blocos. Um diagrama esquemático da estratégia é ilustrado na figura 1.

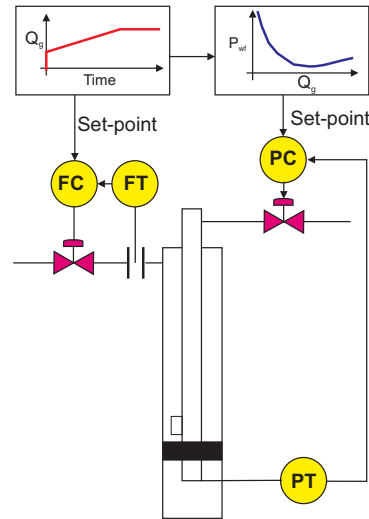


Figura 1 - Estratégia de Repartida Automática para um Poço GLC.

Primeiramente têm-se o bloco responsável pela estimação da referência a ser utilizada pela malha de controle. Novamente, graças à disponibilidade da medição da pressão de fundo, e mantidas as condições de superfície, é possível traçar uma curva estática que a relaciona com a vazão de injeção com o sistema em regime de operação. Desta forma, a estimação é baseada numa função matemática que tem a medida da vazão de injeção como entrada. A função utilizada é da forma:

$$y_e = \Theta_1 e^{-\Theta_2 u^m} + \Theta_3 + \Theta_4 u$$

$$u = \frac{Q_{inj}}{Q_{inj}^*}$$

$$y_e = \frac{P_{wf}}{P_{wf}^*}$$
(1)

Com P_{wf}^* e Q_{inj}^* sendo respectivamente os valores de pressão de fundo e vazão de injeção onde $\frac{\partial P_{wf}}{\partial Q_{inj}} = 0$, $m = 0.55$ e Θ_i são os parâmetros a serem ajustados. A estimação dos coeficientes oferece como resultados:

$$[\Theta_1 \ \Theta_2 \ \Theta_3 \ \Theta_4] = [119.96 \ 3.11 \ 183.81 \ 0.36] \quad (2)$$

Na figura 2 são comparados os gráficos de $P_{wf} = f(Q_{inj})$ com os dados obtidos por simulação utilizando o ambiente OLGA2000, da empresa Scandpower, e com os da curva gerada a partir dos pontos calculados para variações de Q_{inj} no intervalo $[0.7 - 2.4] \text{ kg/s}$.

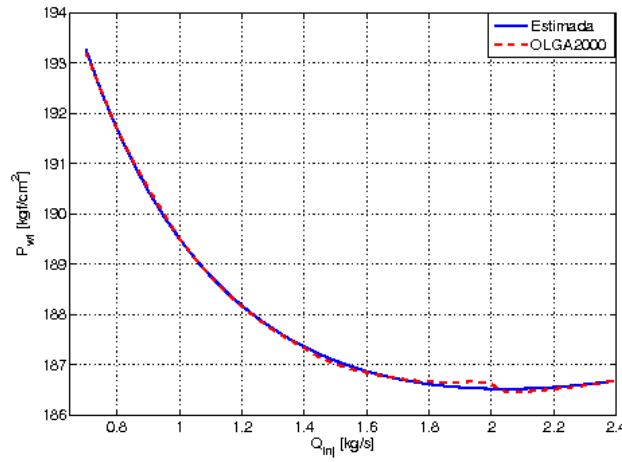


Figura 2 - Superposição das Curvas Real e Estimada

O princípio de funcionamento pode ser descrito de forma resumida como: a cada período de amostragem, o bloco de estimador receberá como entrada, o valor de injeção medido no choke de injeção, e apresenta na saída, o valor de referência para a pressão de fundo P_{wf}^{ref} .

Este valor de referência é enviado ao sistema de controle de pressão de fundo. A utilização de um controlador do tipo Proporcional-Integral pode ser justificada pela ausência de um modelo que possibilite a aplicação de estratégias de controle mais avançadas. Além disso, este tipo de controlador é amplamente utilizado na indústria e possui um baixo número de parâmetros, o que facilita seu ajuste. O controle PI proposto é utilizado na forma:

$$C(s) = \frac{u(s)}{e(s)} = K_c \left(\frac{1 + T_i s}{T_i s} \right) = K_c \left(\frac{s + \frac{1}{T_i}}{s} \right) \quad (3)$$

Os ganhos do controlador são ajustados de forma a manter a relação desejada e também considerando que uma abertura suave do choke de produção durante a repartida proporciona um bom comportamento para a vazão de líquido. Desta forma, os parâmetros são ajustados em $K_c = 1.10^{-4}$ e $T_i = 10$.

Para o ajuste escolhido, observando a evolução da vazão de líquido do poço já em regime de operação, pode-se perceber que o valor atingido após a repartida é abaixo do esperado pela curva WPC, obviamente pelo choke não estar totalmente aberto.

Passada a fase crítica da repartida, que ocorre logo no início do procedimento, é interessante que o sistema de controle fosse capaz de acelerar a ação de controle, isto é, a abertura do choke de produção. Com a medição da pressão de fundo, é possível inferir o fim deste período. Desta forma, é proposta uma estratégia de escalonamento de ganhos, com a comutação dos parâmetros sendo coordenada pelo valor da pressão de fundo. Entretanto, ainda fica o compromisso quanto à velocidade da ação de controle, com o novo conjunto de parâmetros sendo ajustados ainda de forma conservativa, com valores $K_c^{OP} = 10 K_c^{REP}$ e $T_i^{OP} = \frac{T_i^{REP}}{5}$, e o valor de pressão de fundo utilizado como base para comutação dos ganhos é definido como $P_{wf}^{OP} = 203 \text{ kgf} / \text{cm}^2$. Portanto, a lei de controle pode ser descrita como mostra a equação (4):

$$\begin{aligned}
 &\text{if } P_{wf} \geq P_{wf}^{OP} \\
 &\quad K_P = 10^{-4} \quad T_i = 10 \\
 &\text{else} \\
 &\quad K_P = 10^{-3} \quad T_i = 2
 \end{aligned} \tag{4}$$

Resultados e Discussão

Para as simulações do sistema de controle aplicado no poço em estudo, implementado no simulador OLGA2000, considerou-se um cenário em que a vazão de injeção é implementada com a aplicação de um degrau de valor $Q_{inj} = 0.6 \text{ kg/s}$, acima do limite inferior para operação estável do poço [2], seguido de uma rampa definida para que a vazão de operação de $Q_{inj} = 1.87 \text{ kg/s}$ seja atingida em 1000 segundos. O valor final de vazão é escolhido por estar na região de máxima produção de acordo com a figura 2. Porém este valor pode ser alterado. Para uma melhor visualização do desempenho do sistema de controle, os ajustes propostos são comparados aos resultados de uma repartida mal executada em malha aberta. Os resultados de simulação da repartida executada com a estratégia proposta de escalonamento de ganhos são mostrados na figura 3.

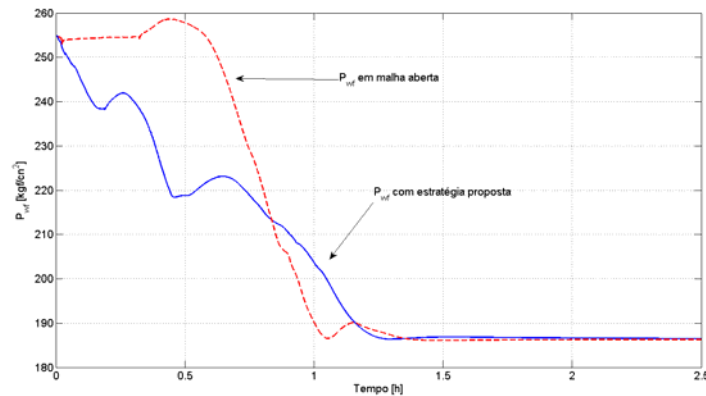


Figura 3 - Evolução da Pressão de Fundo Durante a Repartida.

Pode-se perceber que a vazão de líquido apresentou um bom comportamento durante a repartida com as amplitudes das oscilações sendo suavizadas, aproximadamente 1/3 menores que a repartida em malha aberta.

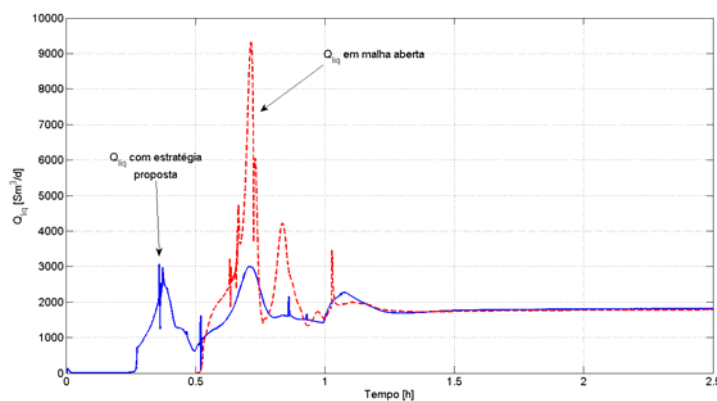


Figura 4 - Evolução da Vazão de Líquido Durante a Repartida

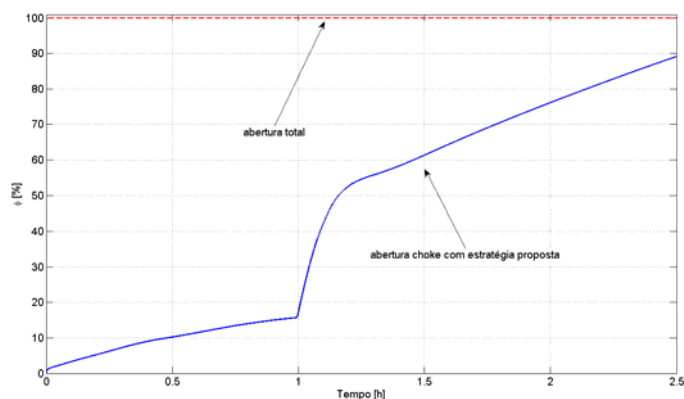


Figura 5 - Ação de controle durante a repartida.

A estratégia de comutação proporciona uma aceleração na abertura do choke de produção. Desta forma, a vazão de líquido se aproxima mais rapidamente do valor de regime permanente da repartida em malha aberta, com o choke totalmente aberto. Entretanto, a comutação dos ganhos produz um pequeno sobressinal na vazão, mas com amplitude pouco acima do valor de regime permanente.

Conclusões

Este trabalho aborda o problema relacionado à repartida de poços operando por injeção contínua de gás. É apresentada uma estratégia de controle livre de modelo visando estabelecer uma repartida com trajetória bem comportada das principais variáveis do processo, especialmente a vazão de líquido.

A estratégia é formulada pensando de forma intuitiva na condição de equilíbrio relacionando a quantidade de gás e de líquido que entram no tubo de produção. Como a medição da vazão de líquido não é disponível, utiliza-se a curva estática relacionando a vazão de gás de injeção com a pressão de fundo. Esta define a vazão de líquido que flui do poço para o tubo de produção pela relação IPR. Assim, durante a repartida, a pressão de fundo de referência é estimada pela vazão de gás sendo injetada, e é enviada para o sistema de controle atuando no choke de produção.

Um controlador do tipo PI é projetado de forma conservativa com o objetivo de levar a pressão de fundo para o valor de referência, amenizando as oscilações presentes e atingir a abertura total ao seu final. Para acelerar a abertura do choke de produção após a fase crítica da repartida, é proposta uma estratégia de escalonamento de ganhos, com a lei de comutação baseada na medição da pressão de fundo.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Agência Nacional de Petróleo, Gás natural e B combustíveis (ANP) pelo apoio fornecido na forma do Programa de Recursos Humanos PRH-34-ANP/MCTOs. Além disso, autores agradecem à empresa Scandpower pela disponibilidade de uma licença acadêmica do simulador OLGA2000.

Referências Bibliográficas

- [1] HU, B., Characterizing gas-lift instabilities, Ph.D. Thesis, NTNU, Norway, 2004.

5º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS

[2] PAGANO, D. J., PLUCÊNIO, A., TRAPLE, A., GONZAGA, C. A., Controlling oscillations and re-starting operation in gas-lift wells. *Anais do XVII Congresso Brasileiro de Automática*, Juiz de Fora, Brasil, 2008.

[3] GUO, B., LYONS, W. C., e GHALAMBOR, A., *Petroleum Production Engineering*. Elsevier Science and Technology Books, 2007.