



República Federativa do Brasil
Ministério da Indústria, Comércio Exterior
e Serviços
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 0519164-5 B1

(22) Data do Depósito: 20/12/2005

(45) Data de Concessão: 22/11/2016



(54) Título: MÉTODO PARA CONTROLAR O FLUXO DE UM FLUIDO MULTIFÁSICO A PARTIR DE UM POÇO E POÇO ESTENDENDO-SE PARA DENTRO DE UMA FORMAÇÃO DE SUB-SUPERFÍCIE

(51) Int.Cl.: E21B 43/12

(30) Prioridade Unionista: 21/12/2004 EP 04106806.5

(73) Titular(es): SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B. V.

(72) Inventor(es): ADRIAAN NICOLAAS EKEN

“MÉTODO PARA CONTROLAR O FLUXO DE UM FLUIDO MULTIFÁSICO A PARTIR DE UM POÇO E POÇO ESTENDENDO-SE PARA DENTRO DE UMA FORMAÇÃO DE SUB-SUPERFÍCIE”

Campo da invenção

5 A presente invenção se refere a um método para controlar o fluxo de um fluido multifásico de um poço, estendendo-se para dentro de uma a formação de sub-superfície.

Base da invenção

10 O fluxo de um líquido multifásico tal como óleo e/ou água, e gás, é quase sempre envolvido na produção de hidrocarbonetos a partir de formações de sub-superfície. O fluxo ascendente de um fluido multifásico em um poço pode frequentemente levar a problemas de estabilidade do fluxo.

15 Instabilidades na produção podem ser encontradas por exemplo na forma de grandes flutuações da taxa de produção de óleo, e.g. mais do que 25% da taxa média de produção, ou em situações onde grandes engrossamentos súbitos no óleo se alternam com surtos da pressão do gás. Problemas particulares são encontrados em poços de elevação de gás, onde o gás é injetado a partir da superfície, via uma região anular de revestimento/tubulação e uma válvula de injeção a montante no poço, na
20 tubulação de produção. Também aqui, severas instabilidades da razão gás/líquido do fluido produzido na tubulação acima podem ocorrer. Um problema especial é observado em poços duplos de elevação de gás, em que duas tubulações são dispostas, geralmente com entradas para reservatório de fluido, a diferentes profundidades. Um problema comum aí é que a produção
25 através uma das tubulações cessa, devido a instabilidades na injeção de gás na tubulação.

 Tal fenômeno de instabilidade é frequentemente referido como “acúmulo de pressão”, e.g. “acúmulo de pressão” de tubulação, “acúmulo de pressão” de revestimento, etc.

Os “acúmulos de pressão” são geralmente indesejáveis, não apenas porque acarretam perdas na produção, mas também porque os equipamentos de manuseio do fluido a jusante, tais como os separadores e compressores, podem ser afetados, danificando a acolhida ou a linha de direção do fluxo, e levando influências negativas a outros poços conectados a este mesmo equipamento.

Vários sistemas e métodos foram propostos no passado para controlar o fenômeno “acúmulo de pressão”.

O pedido de patente internacional com publicação N° WO 97/04212 descreve um sistema para controle de produção de um poço de óleo de gás em elevação, compreendendo um estrangulador para ajuste do fluxo de óleo cru, desde a tubulação de produção do poço, através da qual o gás é injetado em uma posição a jusante no poço. Um sistema de controle é provido para controlar dinamicamente a abertura do estrangulador, de tal maneira que a pressão na cabeça do revestimento na linha de injeção de gás seja minimizada e estabilizada.

SPE paper N° 49463 “Real –Time Artificial Lift Optimization” por W.J.G.J. der Kinderen, C.L. Dunham e H.N.J. revela uma combinação desse sistema com uma estimativa de produção baseada na medida da queda de pressão sobre uma restrição fixa. A queda de pressão é usada para estimar a produção e o estrangulador é lentamente ajustado em degraus para encontrar uma abertura ótima para a produção máxima.

A publicação de patente US 6 293 341 revela um método para controlar a produção de hidrocarbonetos líquidos e gasosos em um poço ativado por injeção de gás em que a taxa do fluxo de hidrocarboneto produzido é estimada através da medida da temperatura dos hidrocarbonetos produzidos, e é comparada com quatro taxas de fluxos pré determinadas. Dependendo do resultado da comparação e dependendo das taxas de injeção de gás e da abertura da saída do estrangulador, são ajustados

escalonadamente, de acordo com um total pré determinado.

É um objeto da presente invenção, fornecer um método de controle para o fluxo de um fluido multifásico a partir de um poço que permita um controle eficiente e robusto em uma variedade de situações e com exigências mínimas para o hardware de controle.

Sumário da Invenção

Com esta finalidade é oferecido um método para controle do fluxo de um fluido multifásico estendendo-se para dentro de uma formação sub-superfície, sendo o poço provido, numa posição a jusante, de uma válvula, tendo uma abertura variável, compreendendo este método as seguintes etapas

- permitir ao fluido multifásico fluir por uma abertura de válvula selecionada;

-selecionar um parâmetro de fluxo do fluido multifásico, em que o parâmetro de fluxo é responsivo a mudanças em uma razão gás/líquido do fluido multifásico em uma posição a montante no poço, e um ponto de ajuste para o parâmetro de fluxo; e monitorar o parâmetro de fluxo;

-controlar o parâmetro de fluxo em direção aos seus pontos de ajuste, através da manipulação da abertura da válvula;

em que o tempo de controle entre a detecção de um desvio no ponto de ajuste e a manipulação da abertura é menor que o tempo necessário para que o fluido multifásico atravessasse 25% da distância entre as posições a montante e a jusante.

O solicitante percebeu que um controle eficiente do fluxo de um fluido multifásico pode ser conseguido através da manipulação suficientemente rápida da válvula de produção variável em resposta a uma mudança na razão gás/líquido do fluido produzido numa posição a jusante do poço. Tal mudança pode ser derivada de um parâmetro de fluxo caracterizando o fluxo combinado de gás e líquido, do fluido multifásico

tubulação de produção. Exemplos de parâmetros de fluxo são a taxa de fluxo volumétrico, a taxa de fluxo em massa, mas outras definições de um parâmetro de fluxo também podem ser usadas, como será ressaltado demonstrado a seguir.

5 Se, por exemplo o parâmetro de fluxo indicar que na extremidade inferior baixa da tubulação de produção, um engrossamento de líquido é formado, a válvula de produção deveria ser rapidamente aberta de maneira que o líquido fosse transportado para fora, imediatamente, antes que esse engrossamento súbito do líquido possa crescer devido a uma pressão
10 hidrostática crescente na tubulação. Se o parâmetro de fluxo, por outro lado, indicar um grande influxo de gás para a tubulação de produção, a válvula deve ser fechada o suficiente para criar uma pressão contrária corretiva.

 A escala de tempo na qual a válvula deveria ser manipulada pode estar relacionado ao tempo que leva para o fluido fluir a
15 ascendente pela tubulação de produção, desde a posição a montante onde a mudança na razão gás/líquido ocorre, até a posição a jusante da válvula variável. O solicitante constatou que para uma resposta suficientemente rápida, a válvula deveria ser manipulada mais rapidamente do que o tempo necessário para o fluido multifásico atravessar 25% da distância
20 entre as posições a montante e a jusante. Preferivelmente o tempo de controle deve ser menor do que 15%, mais preferivelmente menor que 10% do tempo necessário para que o fluido atravesse a distância entre as posições a montante e a jusante, por exemplo, entre 5 e 10% deste tempo. De fato, um controle muito bom é alcançado quando o tempo de resposta é minimizado, de maneira
25 que o parâmetro de fluxo seja medido continuamente, e toda flutuação ou mudança seja traduzida imediatamente para um ponto de ajuste ótimo atualizado para a abertura da válvula, e a válvula seja instantaneamente manipulada em consequência disso. Em poços típicos, o tempo de controle será de 1 minuto ou menos, preferivelmente 30 segundos ou menos, mais

preferivelmente 10 segundos ou menos, e por exemplo 1 segundo.

5 Preferivelmente, o parâmetro de fluxo é medido perto da posição a jusante da válvula variável. Uma tal posição fica mais perto da válvula variável do que da posição a montante na qual a razão de gás/líquido muda, por exemplo em um máximo de 10% de distância entre as posições a montante e a jusante, partindo da posição a jusante. Um parâmetro de fluxo detectado na superfície é influenciado por uma razão gás/líquido variável a montante no poço, e.g. na extremidade inferior da tubulação de produção, com a velocidade do som, i.e. quase instantaneamente. O tempo de controle exigido para a válvula, por outro lado, se refere à velocidade do fluxo do fluido multifásico, a qual é menor. Portanto, detectando-se uma mudança no parâmetro de fluxo, haverá tempo suficiente para uma ação contrária. Mais preferivelmente, o parâmetro de fluxo é medido na, ou perto da cabeça do poço, na superfície.

15 Em uma configuração particularmente vantajosa, o parâmetro de fluxo é estimado em função de uma diferença de pressão sobre uma restrição do fluxo, cujo parâmetro de fluxo não deve levar em conta a composição real do fluido multifásico pertinente à diferença de pressão na restrição do fluxo. Os dados da composição real para o fluido multifásico que está a certo tempo, em certo lugar da tubulação de produção, podem, em princípio, ser obtidos por um densitômetro-gama, medidor de fluxo multifásico ou equipamento similar. O solicitante percebeu que um bom controle pode ser alcançado, mesmo sem os tais dados de composição real, de maneira que o equipamento caro que seria exigido para se obter esses resultados não é necessário.

25 Preferivelmente, então, a própria válvula variável é usada como a restrição. Embora o parâmetro de fluxo determinado desta maneira possa ser algo menos preciso do que com uma restrição fixa, isto não é um problema para a tarefa de controlar o fluxo.

Ficará entendido que pode ser vantajoso se ter um controlador de otimização que opera numa escala de tempo muito maior e procura otimizar ou maximizar toda a produção através da manipulação do ponto de ajuste e do parâmetro de fluxo. O controlador de otimização pode, por exemplo, monitorar um parâmetro médio, referente a tal produção tal como um nível médio de abertura de válvula, uma queda média de pressão sobre a restrição de válvula, ou um parâmetro de fluxo médio. A escala de tempo de um tal controlador externo é maior que o tempo necessário para o fluido multifásico atravessar a distância entre as posições a montante e a jusante, e.g. uma escala de tempo de muitos minutos, e.g. 5 minutos ou mais, até uma hora, ou a mais.

Em uma configuração particular, o poço é um poço de elevação de gás, provido com tubulação de produção, tendo uma válvula de injeção de gás na posição a montante. Nesta configuração, a principal causa de distúrbio para a razão gás/líquido será uma mudança da taxa de injeção de gás na válvula de injeção de gás.

Em uma outra configuração particular o poço é um poço duplo de elevação de gás, em que a tubulação de produção forma uma primeira tubulação de produção, em que, adicionalmente uma segunda tubulação de produção é colocada, e em que a razão entre os primeiros e segundos parâmetros de fluxo do fluido multifásico na primeira e segunda tubulações de produção são controlados.

Controlar a razão do fluxo desta maneira tem sido considerado como uma maneira efetiva para impedir que a produção através de uma tubulação cesse, considerando que, todo gás seja injetado dentro da outra tubulação apresentando, como resultado total, uma muito ineficiente suspensão de gás.

Assim, o método da presente invenção pode ser usado para controlar vários fenômenos, sem considerar a sua origem, em uma variedade de situações.

De acordo com a invenção também é oferecido uma extensão do poço em uma formação de sub superfície para produzir um fluido multifásico para a superfície, cujo poço é provido, em uma posição a jusante, de uma válvula com uma abertura variável e com um sistema para controlar o

5 fluxo multifásico, cujo sistema de controle inclui meios para medir o parâmetro de fluxo do fluido multifásico, cujo parâmetro de fluxo é responsivo a mudanças na razão do gás/líquido do fluido multifásico em uma posição a montante no poço, e meios de controlar o parâmetro de fluxo em

10 direção a um ponto de ajuste selecionado, através da manipulação da abertura da válvula, em que o sistema de controle é disposto, visando que o tempo de controle entre a detecção de um desvio no ponto de ajuste e a manipulação da abertura seja menor que o tempo necessário para que o fluido multifásico

atravesse 25% da distância entre as posições a montante e a jusante.

Breve descrição dos desenhos

15 Uma configuração da invenção será descrita agora em maiores detalhes, e referenciada aos desenhos que a acompanham, em que:

A Figura 1 mostra esquematicamente uma configuração de um poço de fluxo livre, como primeira aplicação da presente invenção.

20 A Figura 2 mostra esquematicamente um poço de elevação de gás, configurando uma segunda aplicação da presente invenção;

A Figura 3 mostra esquematicamente um poço duplo de elevação de gás, configurando a terceira aplicação da presente invenção.

Descrição detalhada da invenção

25 A referencia é feita à Figura 1. A Figura mostra um poço de fluxo livre estendendo-se da superfície 3 até a formação da sub superfície 5. O poço é provido com revestimento 7 e na extremidade mais baixa do poço, são colocadas perfurações 8 para receber fluido do reservatório dentro do poço. A tubulação de produção 10 está instalada, separada do acabamento, por um envasilhador 12. A tubulação de produção se estende das suas extremidades a

montante 14 até a cabeça do poço 15 na superfície, e daí, através uma linha de direção do fluxo 18 para um equipamento de processamento da corrente de fluxo a jusante 20, e.g. incluindo um separador de gás/líquido.

5 Ao longo da linha de direção do fluxo, um sistema de controle é colocado, compreendendo uma válvula variável controlável 30, uma restrição de fluxo 32, sensores de pressão 36 e restrição de fluxo a montante e a jusante, e um controlador 40, recebendo entrada via linhas 46, 47 dos sensores de pressão 36,37, e tendo uma saída via linha 49 para um sinal de controle para a válvula de controle 30. Em uma configuração particular (não
10 mostrado, mas, veja Figura 2), a válvula variável 30 é colocada em posição e desenvolve o papel de restrição do fluxo 32. A restrição do fluxo 32 pode também ser colocada a montante, perto da válvula de controle 30.

O fluido do reservatório, recebido através das perfurações 8 dentro do poço, normalmente é um fluido multifásico, compreendendo líquido
15 e gás. A razão de gás/líquido nas condições do fundo do poço pode depender de muitos fatores, como por exemplo da composição do fluido tranquilo no reservatório, influxo vindo de outras regiões da superfície, do total de gás dissolvido em óleo, e da liberação do gás dissolvido devido à diferença de pressão entre o reservatório e o poço. Instabilidade na produção deste fluido
20 multifásico para a superfície pode ser observada com severidade variada, dependendo também da taxa de produção total, da geometria da tubulação e do desempenho do influxo do reservatório.

De acordo com a presente invenção, tais instabilidades podem ser efetivamente controladas pela manipulação da válvula no fluxo a jusante
25 30. Para esta extremidade, um parâmetro de fluxo do fluido multifásico é selecionado, o qual é responsivo a mudanças na razão de gás/líquido no fluido multifásico na posição a montante no poço, tal como na extremidade mais baixa da tubulação de produção 10 ou nas perfurações.

Um parâmetro de fluxo desejável é a taxa de fluxo volumétrico

ou também a taxa de fluxo de massa do fluido multifásico.

Para um controle efetivo não é necessário determinar essas taxas de fluxo com alta precisão. Mais importante é a detecção rápida das mudanças nas taxas de razão de gás/líquido.

5 O parâmetro de fluxo é medido de preferência na superfície.

Um aspecto particularmente vantajoso da configuração de invenção mostrado na Figura 1, é que o parâmetro de fluxo é monitorado pelo monitoramento contínuo da diferença de pressão apenas sobre a restrição de fluxo, sem o monitoramento de outra variável a fim de determinar uma razão atual gás/líquido pertinente à atual diferença de pressão na restrição do fluxo. Isto é vantajoso desde que seja considerado que não é preciso, na presente invenção, instalar equipamento para medição de dados pertinentes à composição multifásica, e.g. um separador pequeno específico para controlar propósitos, um metro de fluxo multifásico caro ou um densitômetro gama.

15 Na arte anterior, tal equipamento é usado para determinar um equilíbrio de massa do fluido multifásico, e.g. uma fração de massa de gás. As mudanças disso, como uma função de tempo, na localização da medida.

Usando tais dados, as taxas de fluxo de massa ou volumétrico são precisas, e as mudanças disso, como uma função de tempo, pode ser derivada.

20 Foi percebido entretanto que, um parâmetro de fluxo adequado para o uso de variável controlada no controle do fluxo multifásico pode ser derivado dos dados autônomos de pressão, e, que, um controle eficiente pode ser obtido quando a abertura da válvula variável é usada como variável manipulada. Desta maneira, um controle repetitivo, simples mas efetivo, pode ser obtido com exigências mínimas de hardware.

25 Um parâmetro de fluxo FP para o fluxo de um fluido multifásico através de uma válvula variável formando uma restrição pode ser representado pela seguinte equação:

$$FP=f. C_v. \sqrt{\Delta p} , \quad (1)$$

em que,

f é um (em dimensionamento geral) fator proporcionalidade;

C_v é um coeficiente de válvula que caracteriza o processamento na abertura de uma dada válvula e é dependente da abertura

Δp é a diferença de pressão sobre a restrição do fluxo (variável).

F é um parâmetro de fluxo generalizado.

C_v tem a dimensão $\frac{\text{volume}}{\text{tempo} \cdot \text{pressão}^{1/2}}$.

É comum expressar C_v em unidades de engenharia Estados Unidos $\frac{US \text{ galões}}{\text{min} \cdot \text{psi}^{1/2}}$.

Seguindo a definição comum $Q \sqrt{\frac{G}{\Delta p}}$ em que Q é o fluxo

volumétrico em galões americanos/min, C_v é o coeficiente da válvula em gal/min/psi^{1/2}, Δp é a pressão da queda em psi, e G é a razão da densidade do fluido ρ e a densidade da água. Se nós convertermos para as seguintes unidades

$$Q^* [m^3 / h], \quad p^* [bar], \quad G = \rho^* [kg / m^3] / 1000 [kg / m^3],$$

mantém para C_v as unidades americanas comuns, o que dá:

$$Q^* = Q * 0.003785 * 60$$

$$\Delta p^* = \Delta p * 0.068947$$

$$\rho^* = G * 1000 \text{ kg/m}^3.$$

Substituição na definição original para C_v , e omissão do *

$$C_v = \frac{1}{u} \cdot Q \sqrt{\frac{\rho}{\Delta p}} \quad (2),$$

Em que u é uma constante conversão tendo o valor $1/u = 0.03656$

Em que u é uma conversão constante tendo o valor formulado

Na seguinte unidade será assumido que C_v e as C unidades discutidas acima, tem as unidades como dadas, e por esta razão a constante u aparecerá nas equações. Das equações (1) e (2) segue-se a taxa de fluxo volumétrico $FP=Q$ (unidades m^3/hr) é obtida se selecionado como

$$f = f_q = u \sqrt{\frac{x}{\rho_g} + \frac{1-x}{\rho_l}}, \quad (2)$$

Onde

X = a fração de massa de gás de um fluido multifásico;

ρ_g e ρ_l são as densidades líquidas e gas (kg/m^3);

10 E aqui foi assumido que $\Delta p/p_u \ll 1$, em que p_u é a pressão montante da restrição.

Uma taxa de fluxo de massa $FP=W$ (unidade kg/hr) é obtida se for selecionado como

$$f = f_w = u^2 \frac{1}{f_q} \quad (3)$$

15 A fim de calcular tanto a massa quanto a taxa de fluxo volumétrico, a fração de massa de gás x do fluido multifásico na restrição é exigido. Entretanto, no método da presente invenção não há uma medida separada para ser usada com esta finalidade, como por exemplo, usando um densitômetro gama. Existem várias maneiras adequadas para se obter o parâmetro de fluxo que seja adequado como uma variável controlada.

20 A seguir selecionamos f =constante, independente da densidade. O parâmetro de fluxo $FP=F$ então obtido tem características que são algo entre

25 Uma massa e uma taxa de fluxo volumétrico. Foi descoberto que um esquema de controle simples em que este parâmetro de fluxo é conseguido em um ponto de ajuste pré determinado, pela manipulação adequada da válvula variável, já pode oferecer uma significativa supressão

engrossamentos súbitos no líquido e aumentos de pressão do gás.

Também é possível estimar a massa ou taxa de fluxo volumétrico, estimando f_w ou f_q , sem medir um parâmetro separado pertinente a atual razão gás/líquido na restrição. Uma estimativa pode, por exemplo, ser obtida usando-se uma fração da massa de gás média x_{av} no fluido multifásico que é produzido. Uma tal fração de massa de gás não pode ser obtida, por exemplo analisando a totalidade das correntes líquido e gás obtidas em equipamento de separação de correntes a jusante 20. Assim, na equação 2 ou 3, ao invés de usar a fração de massa de gás atual do fluido multifásico, causando a queda de pressão na restrição, uma fração de massa de gás média x_{av} é usada. A fim de restaurar algumas flutuações em fluxo multifásico sobre tempo, desvios de pressão a montante ou de uma pressão referência P_{ref} podem ser considerados, e.g. usando-se

$$f_q = u \sqrt{\left(\frac{x_{av}}{\rho_g} + \frac{1 - x_{av}}{\rho_l} \right) P_{ref}} \cdot \frac{1}{\sqrt{P_u}} \quad (4)$$

Como uma aproximação pode ser usada em particular, quando $\Delta p/p_u \ll 1$.

Estimar f_w ou f_q pode também ser facilitado se houver informações sobre o regime do fluxo multifásico, i.e., um fluxo predominantemente líquido, gás, ou misto gás/líquido.

Durante operação normal, o parâmetro de fluxo é monitorado via os sensores de pressão 36,37 que alimentam os seus sinais dentro do controlador 40 onde o parâmetro de fluxo é calculado. Quando o parâmetro de fluxo desvia do seu ponto de ajuste, o controlador determina a abertura da válvula variável 30, uma atualização do ponto de ajuste e envia o sinal apropriado através da linha 49 para a válvula 30.

Nos casos em que a queda de pressão através da válvula atinge uma margem crítica, (tal como quando o fluxo se torna sônico no lugar da restrição) o cálculo do fluxo é adequadamente diferente. Neste caso, o fluxo

não depende mais da pressão a jusante. Os cálculos permanecem os mesmos, com o seguinte ajuste: ao invés da pressão diferencial Δp , nós usamos a porção fixada da pressão a montante da restrição. A transição de sub crítica para crítica depende do tamanho físico e da forma da restrição e das condições do processo.

Freqüentemente acontece que as condições críticas existam quando a pressão a jusante esteja abaixo do ponto de transição, o qual é expresso como uma fração da pressão a montante e.g. 30% ou 50% ou a pressão a montante. Assim, como a pressão a jusante fica mais baixa que o ponto de transição, a diferença entre pressão a montante e ponto de transição é usada ao invés de Δp . O parâmetro de fluxo é dependente apenas da pressão a montante e da abertura da válvula.

De acordo com a invenção o controle repetitivo é tão rápido que o tempo entre a detecção de um desvio do ponto de ajuste e a manipulação da abertura é menor que o tempo necessário para que o fluido multifásico atravesse 25% da distância entre a extremidade a montante da tubulação de produção e a válvula a jusante.

Em um exemplo típico, a tubulação de produção alcança, desde a superfície, a profundidade de 1500m, e a velocidade do fluxo total, ignorando os deslizamentos entre gás e líquido é de 5m/s. Neste caso o tempo de controle deveria ser menor do que 75s.

Um controle muito bom é alcançado quando o tempo de resposta é minimizado, de forma que o parâmetro de fluxo seja continuamente medido, e toda flutuação ou mudança seja imediatamente traduzida para um ponto de ajuste ótimo atualizado para a abertura da válvula, e a válvula seja imediatamente manipulada adequadamente.

Será percebido que é, contudo, possível aplicar algumas filtragens para remover ruídos de alta frequência das medidas de pressão, mas a filtragem suavizaria as medidas em uma escala de tempo de no máximo 5

segundos.

Para começar um fluxo em um poço de fluxo livre, é adequado que a válvula de produção variável esteja levemente aberta até que uma condição de fluxo estável seja alcançada. Notou-se que com aberturas do estrangulador muito reduzidas, os acúmulos de pressão podem ser estabilizadas por causa da influência dominante que a fricção tem nesse caso, sobre os hidráulicos do sistema. Embora uma condição de fluxo estável possa ser alcançada desta maneira, esta não é a maneira desejada para se operar o poço por longos períodos de tempo, uma vez que acarretaria uma substancial redução na produção do poço.

Subseqüentemente o controlador pode ser acionado, seguido por um gradual aumento do ponto de ajuste do controlador, até que o ponto de ajuste para operações contínuas seja alcançado.

A referência agora é feita para a Figura 2, mostrando um poço de elevação de gás 61, o qual também pode ser controlado por um método da presente invenção. Como os numerais de referência usados na Figura 1, são usados para as mesmas partes ou similares.

Em adição às partes já discutidas com referência à Figura 1, o poço 61 é provido com um sistema de elevação de gás compreendendo uma fonte para gás pressurizado via um conduto 65 até o anel 70 entre o revestimento 7 e a tubulação de produção. O conduto 65 é provido com uma válvula de anel 72. No fundo do poço, a tubulação de produção é provida com uma válvula de injeção de gás 75, para admitir o gás suspenso do anel 70 para dentro da tubulação de produção 10. Apenas uma válvula de injeção de gás é mostrada, mas deve ficar claro que outras válvulas podem ser colocadas em diferentes profundidades. Um problema comum encontrado em poços de suspensão de gás, é a produção instável, devido ao fenômeno "acúmulo de pressão". Além das causas já descritas anteriormente, nos poços de fluxo livre, uma razão particular para a produção instável e cíclica é a interação

entre a pressão do gás e o volume em anéis e os hidráulicos na tubulação de produção, a qual é muitas vezes referenciada como causadora de acúmulo de pressão. O volume do anel atua como um amortecedor para a suspensão do gás. O revestimento é completado para cima através das válvulas do anel e esvaziado através das válvulas de injeção. A pressão no anel é determinada pela afluência através da válvula do anel e o fluxo de saída através da válvula de injeção de gás. Os hidráulicos da tubulação são determinados pelo peso da mistura de óleo, gás e água e perdas de fricção em combinação com a força de movimentação exercida pelo reservatório.

10 Quando, devido a uma flutuação, a pressão do fundo do poço diminui e a afluência de fluido do reservatório aumenta e aumenta a taxa de fluxo de fluido a montante da tubulação de produção. Isso acarreta uma diminuição da pressão hidrostática na tubulação, e portanto um aumento na afluência de fluido em levantamento, o que, mais adiante diminui a pressão do fundo do poço e conduz, em um tempo curto, a uma produção máxima. Desde que normalmente a capacidade de pressurização do gás seja limitada, a pressão no anel diminui, portanto, a injeção de gás diminui, ou mesmo cessa, até que a pressão do anel seja restabelecida. A seguir, a mesma seqüência pode ocorrer outra vez. A ocorrência e severidade destas acúmulos de pressão dependem de muitos fatores, tais como a pressão diferencial normal sobre a válvula de injeção de gás, e da relação entre a queda da pressão do anel em uma taxa de injeção de gás aumentada, e da associada queda de pressão no fundo do poço. Ocorre freqüentemente que uma operação ótima em um poço esteja perto ou na região de um acúmulo de pressão do revestimento. Medidas para controlar a instabilidade dos poços de elevação de gás, referidas pela arte anterior, usam uma variável controlada na parte de injeção de gás, e.g. a pressão no anel (pressão na cabeça do revestimento) ou a taxa de injeção de gás no anel. Também, a arte anterior usa a variável manipulada na parte de injeção de gás, e.g. a abertura da válvula do anel, de maneira que a taxa de afluência de

seja trocada a fim de contra atacar desequilíbrios entre a afluência de gás e a saída de fluxo do anel.

A presente invenção, por outro lado, é baseada em um parâmetro de fluxo do fluido multifásico na tubulação de produção e a (única) variável controlada para o rápido controle repetitivo. Durante a operação normal, depois da partida, a (única) variável manipulada no rápido controle repetitivo é a abertura da válvula 30.

A presente invenção permite uma supressão mais robusta do acúmulo de pressão do revestimento, mantendo um fluxo multifásico estável na tubulação de produção. Porque as variáveis controladas e as variáveis manipuladas estão muito perto fisicamente, a ação do controle é mais robusta.

Na configuração da Figura 2, a variável manipulada é a abertura da válvula de produção 30, e a operação dessa válvula ocorre depressa em resposta às mudanças na taxa de injeção na válvula de injeção de gás 75 que a taxa do fluxo de saída do anel, i.e. a taxa de injeção de gás é a mesma, é acionada. Se a taxa de injeção de gás tiver sido detectada em determinado momento assim, muito alta, a válvula 30, será fechada para a abertura em que uma contra-pressão suficiente seja criada para baixar a diferença entre pressão de tubulação e pressão de revestimento, de maneira que a taxa de injeção decresça novamente. Se a taxa de injeção de gás estiver muito baixa, a abertura da válvula 30 é aumentada a fim de diminuir a pressão hidrostática na tubulação e mais gás seja injetado.

A mudança na taxa de injeção de gás pode ser detectada por meio dos parâmetros de fluxo Q , W , e em particular F , como eles têm sido discutidos com referência à Figura 1, não há nenhuma restrição separada na linha de direção do fluxo 18, mas a válvula variável 30 é usada como restrição, sob a qual, também a diferença de pressão é medida. Para determinar um parâmetro de fluxo da diferença de pressão (veja equação 1), a dependência do coeficiente da válvula em relação à abertura deve ser levada em conta.

pode conduzir a uma determinação menos precisa dos parâmetros de fluxo, mas, isso é aceitável para fins de controle.

Uma operação normal do controle repetitivo é muito semelhante à já descrita para controle de poço de fluxo livre. O controle repetitivo é tão rápido que o tempo entre a detecção de um desvio entre o parâmetro de fluxo e os seus pontos de ajuste e a manipulação da abertura é menor que o tempo necessário para que o fluido multifásico atravesse 25% da distância entre a posição da válvula injetora de gás e a válvula do fluxo a jusante. Preferencialmente, o tempo de controle deve ser tão curto quanto possível, mas, alguns filtros de ruído nas medidas de pressão na escala de tempo em segundos, podem ser aplicados.

Uma maneira adequada de começar um poço de elevação de gás é a seguinte. Primeiro, inicie o poço com uma taxa de fluxo de gás elevada e com a válvula variável com uma abertura menor que a ótima, para evitar acúmulos de pressão no revestimento. Subseqüentemente, o controle é acionado e o ponto de ajuste para o parâmetro de fluxo é aumentado cautelosamente até que uma operação ótima seja alcançada. A última etapa pode ser a entrada em funcionamento de um controlador de otimização.

Uma alternativa para a seqüência de inicialização é a seguinte. Primeiro inicie o poço com excesso de gás em elevação de maneira que ele fique estável mesmo com a válvula de controle da cabeça do poço quase completamente aberta. A seguir, acione o controlador e reduza lentamente o gás em suspensão para uma taxa ótima. A etapa final pode ser novamente o acionamento do controlador de otimização.

A referência agora é para a Figura 3, mostrando um poço de elevação de gás com duas tubulações de produção, as quais são colocadas para receber o fluido do reservatório, vindo das perfurações em suas terminações mais baixas, para cujas terminações envasilhadores são colocados. Isto, então chamado de poço

elevação de gás duplo pode também ser controlado pelo método da presente invenção. Como numerais de referência, usados nas Figuras 1 e 2, são usados para as mesmas partes, ou partes similares, os numerais das partes pertinentes à segunda (maior) tubulação de produção são preparados.

5 Existe um problema particular encontrado nos poços de elevação de gás de gás. O gás elevado é fornecido às válvulas de injeção de gás 75, 75' através do anel comum 70. Portanto não há controle sobre a distribuição do gás em elevação para dentro das duas correntes de produção 10, 10'. Com certeza, o tamanho dos orifícios das válvulas de injeção de gás, 10 em combinação com a diferença de pressão através dos orifícios determina a distribuição. Entretanto, a pressão dentro dos tubos de produção é significativamente influenciada pelo fluxo multifásico, na tubulação de produção.

15 O solicitante observou que em uma flutuação normal na pressão hidráulica do fluido multifásico em uma corrente de gás injetada via a respectiva válvula de injeção de gás dentro desta corrente, por exemplo, aumenta.

20 Isto resulta em uma pressão diferencial mais alta, através desta válvula de injeção de gás, e subsequente, até mesmo mais gás é fornecido, causando a queda da pressão no anel.

25 Isto, por sua vez reduz a pressão na outra tubulação de produção. No fim, uma encontra a primeira corrente produzindo ligeiramente mais do que o normal ao dobro de uma taxa de gás em elevação, ainda a segunda corrente não produz porque ela está privada de qualquer gás em elevação. Globalmente, significativamente menos fluido de reservatório é produzido, e gás de injeção pressurizada é ineficazmente usado.

Na configuração da Figura 3, cada tubulação de produção 10, 10' é provida de uma restrição de fluxo 12, 12', sobre a qual a diferença de pressão é medida. Os dados de pressão dos sensores 36, 36', 37, 37' são

alimentados para o controlador 90. Um parâmetro de fluxo é calculado e se refere a uma razão de taxas de fluxo em ambas as tubulações. No caso de uso de restrições fixadas 12, 12', como mostrado, a taxa de fluxo pode ser vista como diretamente proporcional à raiz quadrada da diferença de pressão, assim, a razão de pressões, ou a raiz quadrada, podem ser tomadas como a razão das taxas de fluxo para ser controlada.

Em princípio, pode-se determinar também as diferenças de pressão sobre as válvulas variáveis 30, 301 sem usar restrições fixas separadas. Nesse caso o parâmetro de fluxo pode ser determinado a partir da razão dos parâmetros FP de acordo com a equação 1 para cada corrente de tubulação, aqui, levando em conta as aberturas de válvula.

A fim de controlar o poço duplo de elevação de gás da Figura 3, primeiramente cada corrente de tubulação é operada separadamente para determinar condições de injeção de gás em elevação estáveis para cada uma das correntes autônomas, em particular a abertura da válvula e a queda de pressão sobre a restrição pertinente à mesma pressão na cabeça do revestimento para ambas as correntes, medidas no topo do anel 70. Pode ocorrer que, sem um layout simétrico de ambas as correntes de tubulação que foram usadas, a taxa de injeção de gás em elevação em ambas as tubulações, difere, e, neste caso, a válvula de injeção de gás pode ser modificada. Entretanto, não é exigido que a injeção de gás seja simétrica em ambas as tubulações de produção. O total nominal de gás em elevação exigido é a soma das exigências de gás líquido para ambas as tubulações em condições individuais de estabilidade. A partir desse teste, um ponto de ajuste para o controlador 90 que controla a taxa de fluxo da razão em ambas as correntes das tubulações é determinado.

Depois de conseguido o equilíbrio individual, as condições de levantamento foram determinadas, o poço duplo de levantamento de gás é iniciado, como o usual nesta arte, e.g. suprindo o poço com gás em elevação

em excesso, e gradualmente ir abrindo as válvulas de produção 30, 30'.

Agora, o controlador 90 pode ser ligado. O controlador 90 é colocado para manipular via linhas de controle 49, pelo menos uma das válvulas 30,30' de forma que a proporção das taxas de fluxo seja mantida perto do seu ponto de ajuste. Trocar a posição do controlador, é adequado quando se faz suavemente, evitando que este acionamento introduza instabilidades. Então, a taxa de injeção de gás em elevação pode ser lentamente reduzida até o seu nível normal pela proximidade da válvula de anel 72. Enquanto isso, as válvulas controladas são observadas de perto para verificar se uma das duas tubulações entra em área de perigo onde o estrangulador fecha, podendo ser um indicador de problemas na produção do poço e.g. falta de acionamento no reservatório.

Em seguida, o suprimento de gás é reduzido lentamente e as válvulas variáveis 30 e/ou 30' são manipuladas, de forma que as taxas de injeção predeterminadas para ambas as correntes de tubulação sejam mantidas em equilíbrio.

O controlador, pode, por exemplo, operar da seguinte maneira. A diferença de pressão de uma corrente é multiplicada pelo fator pre determinado que corresponde à razão das diferenças de pressão em uma situação de equilíbrio. O resultado é subtraído da diferença de pressão determinada para a outra corrente. O controlador tenta manter esta diferença em zero.

O controlador deve controlar uma variável correspondente à razão das taxas de fluxo em ambas as correntes. Em princípio, isto pode ser suficiente para manipular uma das válvulas 30, 30', enquanto a outra válvula é mantida em uma abertura constante, e.g. completamente aberta. Foi considerado que, neste caso, pode ser preferível controlar a válvula da tubulação de produção que tende a ter mais gás do que o necessário.

Em uma configuração particular, entretanto, o controlador

pode, com vantagem, usar um grau adicional de liberdade, provido pela presença da segunda válvula para também controlar outras instabilidades tais como um descuido na razão de taxas de injeção de gás nas duas correntes. Assim, outro fenômeno de acúmulo de pressão pode ser ocasionado pela manipulação de ambas as válvulas ao mesmo tempo. Toda ação de controle é executada tão depressa que o tempo de controle entre a detecção de uma instabilidade (tal como acúmulo de pressão no revestimento) ou flutuação e a manipulação de válvula(s) é menor do que 25% do tempo que leva para que o fluido multifásico, em uma das tubulações da produção, flua por todo o comprimento da tubulação de produção.

Será entendido que nunca será possível aplicar algumas filtragens nos dados de pressão para remover ruídos de alta frequência das medições, mas os filtros podem suavizar em uma escala de tempo não maior do que 5 segundos.

O controle do fluxo, de acordo com a presente invenção pode ser a parte central do laço interno para um controle algoritmo mais complexo, incluindo um ou mais laços de controle externo. Um laço de controle externo difere do laço de controle interno por suas características de controle do tempo, o qual é geralmente muito mais lento. Um laço de controle externo particular pode controlar um parâmetro de média, tal como a queda da pressão média na restrição ou a abertura média da válvula de produção, ou o consumo médio de gás em elevação em direção a um ponto de ajuste pre determinado para aquele parâmetro.

Um tal controle externo de laço serve para maximizar a produção de fluidos multifásicos através de um conduto, tentando manter a válvula de produção variável no topo da tubulação de produção, em uma posição aberta, de forma a minimizar a queda de pressão a longo prazo e ao mesmo tempo deixar alguma margem de controle para adequar flutuações de curto prazo. Um laço de controle externo pode também minimizar o consumo

de gás em elevação atuando na válvula do anel.

Para determinar um parâmetro médio em um laço de controle externo, a média é adequadamente obtida em pelo menos dois minutos, e em alguns casos em mais tempo, tal como 10 minutos ou mais, de forma que aquele tempo característico para controlar o parâmetro médio é relativamente longo, sendo, pelo menos dois minutos, mas podendo também ser 15 minutos ou várias horas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para controlar o fluxo de um fluido multifásico a partir de um poço estendendo-se dentro de uma formação de sub-superfície, sendo o poço provido, em uma posição a jusante, de uma válvula, tendo uma
5 abertura variável, o método caracterizado pelo fato de que compreende as seguintes etapas

- permitir ao fluido multifásico escoar em uma abertura da selecionada da válvula;

10 -selecionar um parâmetro de fluxo do fluido multifásico, cujo parâmetro de fluxo é responsivo a mudanças em uma razão gás/liquido do fluido multifásico em uma posição a montante no poço, e um ponto de ajuste para o parâmetro de fluxo; e monitorar o parâmetro de fluxo;

-controlar o parâmetro de fluxo em direção aos seus pontos de ajuste, através da manipulação da abertura da válvula;

15 em que o tempo de controle entre a detecção de um desvio do ponto de ajuste e a manipulação da abertura é menor que o tempo necessário para que o fluido multifásico percorrer 25% da distância entre as posições a montante e a jusante.

20 2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que o tempo de controle é mais curto do que 15%, preferivelmente mais curto do que 10% do tempo necessário para que o fluido multifásico cruze a distância entre as posições a montante e a jusante.

25 3. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1-2, caracterizado pelo fato de que o parâmetro de fluxo é medido perto da posição a jusante.

4. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações 1-3, caracterizado pelo fato de que o parâmetro de fluxo é estimado em função da diferença da pressão sobre uma restrição de fluxo, cujo parâmetro de fluxo não leva em conta a composição real do fluido multifásico pertinente à

diferença de pressão na restrição do fluxo.

5. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1-4, caracterizado pelo fato de que a válvula variável é usada como a restrição.

5 6. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1-5, caracterizado pelo fato de que é ainda previsto um controlador de otimização que é operado para ajustar o ponto de ajuste da abertura da válvula variável, de tal modo que, em uma escala de tempo mais longa que o tempo necessário para que o fluido multifásico cruze a distância entre as posições a montante e a jusante, o parâmetro de tempo médio do fluxo é otimizado.

10 7. Método de acordo com qualquer uma das reivindicações de 1-6, caracterizado pelo fato de que o poço é um poço de elevação de gás provido com uma tubulação de produção tendo uma válvula de injeção de gás na posição a montante.

15 8. Método de acordo com qualquer das reivindicações de 1-7, caracterizado pelo fato de que o poço é um poço de elevação de gás duplo em que a tubulação de produção forma uma primeira tubulação de produção, em que, ainda, uma segunda tubulação de produção é disposta, e em que uma razão entre o primeiro e o segundo parâmetros de fluxo do fluido multifásico, na primeira e segunda tubulações de produção é controlada.

20 9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que ambas as tubulações de produção são providas com uma válvula variável, e, em que, ambas as válvulas são controladas a fim de manter a razão dos parâmetros de fluxo e de contrariar uma outra instabilidade no poço de elevação de gás duplo, ao mesmo tempo.

25 10. Poço estendendo-se para dentro de uma formação de sub superfície, para produzir um fluido multifásico para a superfície, cujo poço é caracterizado pelo fato de que é provido de uma válvula com uma abertura variável colocada na posição a jusante, e com um sistema de controle que

inclui meios para medir o parâmetro de fluxo do fluido multifásico, cujo parâmetro de fluxo é responsivo a mudanças na razão de gás/líquido do fluido multifásico, em uma posição a montante no poço, e, meios para controlar o parâmetro de fluxo em direção a um ponto de ajuste selecionado, através da
5 manipulação da abertura da válvula, em que o sistema de controle estabelece que o tempo de controle entre a detecção de um desvio entre o ponto de ajuste e a manipulação da abertura seja mais curto que o tempo necessário para que o fluido multifásico atravesse 25% da distância entre as posições a montante e a jusante.

Fig. 1.

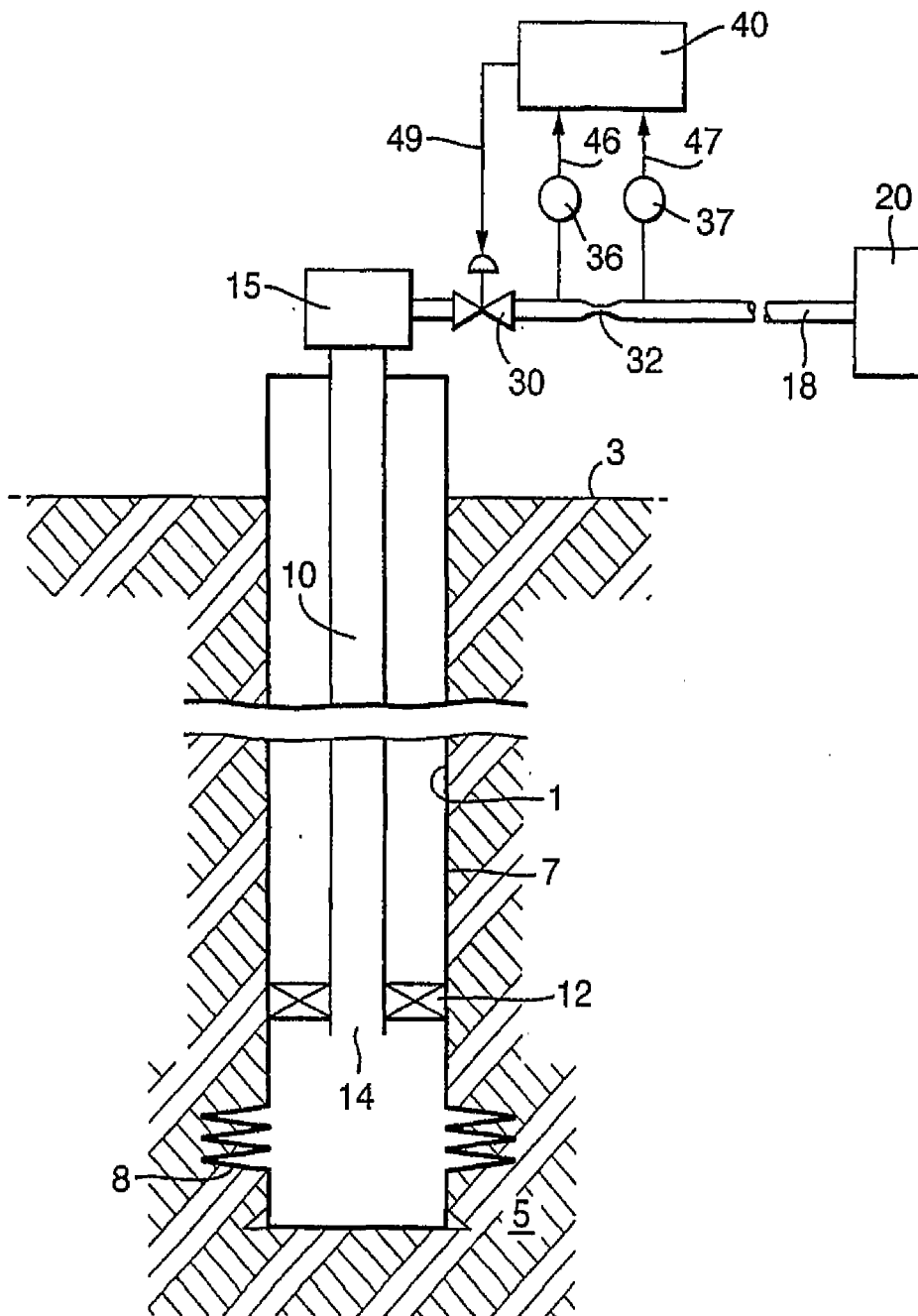


Fig.2.

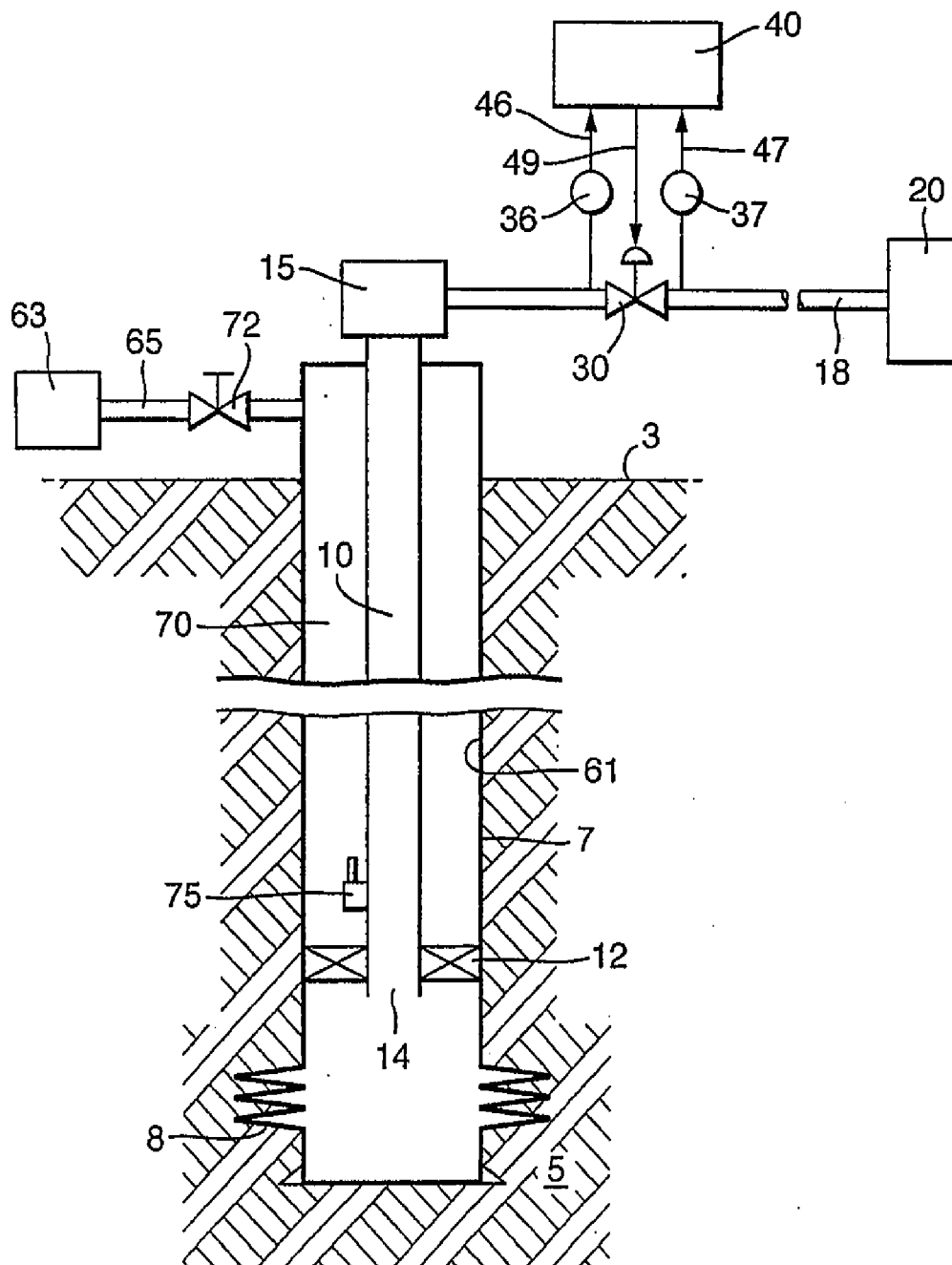


Fig.3.

