



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1012307-5 B1



(22) Data do Depósito: 03/03/2010

(45) Data de Concessão: 17/09/2019

(54) Título: SISTEMA E MÉTODO DE MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA DE FUNDO DE POÇO

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

(30) Prioridade Unionista: 03/03/2009 US 61/156,971.

(73) Titular(es): BAKER HUGHES INCORPORATED.

(72) Inventor(es): ERIC ATHERTON.

(86) Pedido PCT: PCT US2010026055 de 03/03/2010

(87) Publicação PCT: WO 2010/102006 de 10/09/2010

(85) Data do Início da Fase Nacional: 02/09/2011

(57) Resumo: SISTEMA E MÉTODO DE MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA DE FUNDO DE POÇO A presente invenção refere-se a um sistema para o monitoramento de uma condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP) (16) é descrito. O sistema inclui: um conjunto de fundo de poço configurado para ser disposto em um furo de poço (12) em uma formação de terra; o conjunto ESP (16) conectado ao conjunto de fundo de poço e incluindo um motor e uma bomba, o conjunto ESP (16) em comunicação elétrica com uma fonte elétrica de superfície através de um condutor; uma unidade de calibragem de energia (32) configurada para medir a energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16); e um processador configurado para receber dados da unidade de calibragem de energia (32) e calcular uma taxa de fluxo do conjunto ESP (16) com base em pelo menos uma energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16). Também é descrito um método de monitoramento de uma condição de um conjunto ESP (16) de fundo de poço.

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "**SISTEMA E MÉTODO DE MONITORAMENTO DA CONDIÇÃO DE UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA DE FUNDO DE POÇO**".

Antecedentes da Invenção

[001] Sistemas de bombas submersíveis elétricas (ESPs) são utilizadas em exploração de hidrocarbono para auxiliar na remoção de fluido contendo hidrocarbono de uma formação e/ou reservatório. Tais sistemas ESP são dispostos no fundo de poço em um furo de poço e são conseqüentemente expostos a condições difíceis e parâmetros operacionais que podem ter um efeito significativo no desempenho do sistema e vida útil do ESP.

[002] É importante se monitorar o fluxo de um ESP perto do ESP (ao invés de na superfície) por muitas razões. Uma razão importante é obter-se uma indicação imediata se o fluido não estiver fluindo a partir do ESP. À medida que o ESP é resfriado pelo fluido que bombeia o mesmo, é essencial se determinar um fluxo baixo ou ausente rapidamente, se o mesmo ocorrer, de modo que o ESP possa ser interrompido antes de o ESP queimar devido ao aquecimento excessivo. Outra razão é se houver vários ESPs que estão no mesmo poço, produzindo a partir de múltiplas zonas de produção. Nesse caso um medidor de fluxo de fundo de poço é necessário se a alocação do fluido produzido for necessária entre as zonas. Uma razão adicional para o monitoramento do fluxo fundo de poço é se um medidor de fluxo de superfície ou submarino não for possível, ou for muito oneroso.

[003] Durante a remoção de fluido ou outros processos, as contribuições de fluxo são tipicamente monitoradas em várias profundidades em um poço. Tal monitoramento pode ser fornecido por medidores de fluxo de fundo de poço transportados por linha que são temporariamente instalados no poço por um período de tempo de horas ou dias.

[004] Mais recentemente, medidores de fluxo de fundo de poço instalados permanentemente têm sido desenvolvidos em determinados poços, onde a medição de fluxo de superfície ou submarina é difícil. Tais medidores de fluxo instalados permanentemente utilizam tipicamente o princípio de venturi, medindo a redução da pressão na garganta do venturi para determinar a taxa de fluxo. Uma desvantagem dos medidores de fluxo tipo venturi é a necessidade de se restringir o fluxo no venturi. Isso causa uma determinada quantidade de perda de pressão, mesmo em um venturi bem projetado. Qualquer perda de pressão no medidor de fluxo resulta em um fluxo de óleo reduzido, e/ou custos com bombeamento aumentados. Outros medidores de fluxo, tal como medidores de fluxo tipo turbina, são menos populares em instalações permanentes, basicamente devido à falta de confiabilidade das partes móveis de fundo de poço e dos suportes.

[005] Para medição de fluxo de superfície, particularmente para a medição do fluxo dos gases de taxa de fluxo baixa, o equilíbrio de energia, ou "medidores de fluxo térmicos" são bem conhecidos. Um tipo mede primeiro a temperatura de um fluido fluindo ao longo de um tubo. O fluido é então aquecido e finalmente a temperatura do fluido é medida novamente depois de fluir através da seção aquecida. A taxa de fluxo no tubo pode ser calculada a partir do aumento na temperatura de fluido, desde que a capacidade de aquecimento volumétrico do fluido seja conhecida, e a energia do aquecedor;

$$\text{Taxa de fluxo} = \text{Energia_Aquecedor} / [(T_{\text{out}} - T_{\text{in}}) * C_v];$$

[006] "Energia_Aquecedor" é medida em watts (W), "Tout" é a temperatura do fluido depois de fluir através da seção aquecida em graus Celsius (C), "Tin" é a temperatura do fluido antes de aquecer em graus Celsius (C), "Cv" é a capacidade de aquecimento volumétrico do fluido medida em Watts/metros³*C (W/m³/C) e a taxa de fluxo é medida em m³/seg.

[007] Essa fórmula é uma equação de equilíbrio de energia. Para qualquer momento determinado, para uma taxa de fluxo estável, a energia elétrica distribuída para o aquecedor deve ser igual ao aumento em energia de calor no fluido fluindo através da seção aquecida do tubo, considerando que o aquecedor seja externamente bem isolado, de modo que toda a energia elétrica suprida para o aquecedor seja distribuída para o fluido que está fluindo, com uma quantidade irrisória vazando para o ambiente circundante.

Sumário

[008] Um sistema de monitoramento de uma condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP) inclui: um conjunto de fundo de poço configurado para ser disposto em um furo de poço em uma formação de terra; um conjunto ESP conectado ao conjunto de fundo de poço e incluindo um motor e uma bomba, o conjunto ESP estando em comunicação elétrica com uma fonte elétrica de superfície através de um condutor; uma unidade de calibragem de energia configurada para medir a energia elétrica suprida para o conjunto ESP; e um processador configurado para receber dados da unidade de calibragem de energia e calcular uma taxa de fluxo do conjunto ESP com base em pelo menos a energia elétrica suprida para o conjunto ESP.

[009] Um método de monitoramento de uma condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP) inclui: a disposição do conjunto ESP em um furo de poço em uma formação de terra, o conjunto ESP incluindo um motor e uma bomba, o conjunto ESP em comunicação elétrica com uma fonte elétrica de superfície; bombeando o fluxo de dentro do furo de poço através de um conduto de produção através do conjunto ESP; medindo uma energia elétrica suprida para o conjunto ESP; e calculando uma taxa de fluxo do ESP com base em pelo menos a energia elétrica suprida para o conjunto

ESP.

Breve Descrição dos Desenhos

[0010] Com referência agora aos desenhos, onde elementos similares são numerados da mesma forma nas várias figuras:

a figura 1 é uma vista transversal de uma modalidade de um sistema de produção de hidrocarbono;

a figura 2 é uma vista transversal de uma modalidade de um sistema de produção de hidrocarbono incluindo um sistema de medidor de fluxo térmico; e

a figura 3 é um fluxograma ilustrando um método de monitoramento de uma condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP).

Descrição Detalhada das Modalidades Ilustrativas

[0011] Com referência à figura 1, uma modalidade ilustrativa de um sistema de produção de hidrocarbono 10 disposto em um furo de poço 12 é ilustrado. Um cordão de produção 14 é ilustrado disposto em um furo de poço 12 que penetra pelo menos uma formação de terra para extrair matéria da formação e/ou realizar medições das propriedades da formação e/ou do furo de poço 12 do fundo de poço. O cordão de produção 14 é feito a partir de, por exemplo, um tubo, múltiplas seções de tubo ou tubulação flexível. O sistema de produção de hidrocarbono 10 também inclui um conjunto de bomba submersível elétrica (ESP) 16 conectado ao cordão de produção 14, por exemplo, em um conjunto de fundo de furo inferior (BHA). O conjunto ESP 16 é utilizado para bombear o fluido de produção através do cordão de produção 14 para a superfície. Um motor 18 aciona uma bomba 19 no conjunto ESP 16, que recolhe fluido (tipicamente uma mistura de óleo e água) em uma entrada 20 e descarrega o mesmo com pressão aumentada para dentro do cordão de produção 14. O fluido flui para a superfície, eventualmente para dentro de uma linha de fluxo 22, e para uma insta-

lação de processamento de superfície. O motor 18 é suprido com energia elétrica através de um condutor elétrico de modo que um cabo de energia de fundo de poço 24, que é operacionalmente conectado a um sistema de suprimento de energia de motor de superfície 26. Um exemplo do cabo 24 é um cabo de energia de três fases.

[0012] Com referência à figura 2, o conjunto ESP 16 inclui um sistema de medidor de fluxo térmico. O sistema de medidor de fluxo térmico é um sistema de medidor de fluxo térmico de equilíbrio de energia configurado para ser desenvolvido para medir o fluxo de fluidos através do ESP. O sistema de medidor de fluxo térmico estima ou mede o fluxo de fluido através do ESP pela utilização de uma estimativa ou medição da energia elétrica distribuída para o ESP.

[0013] Em uma modalidade, um pacote de instrumentação de superfície ou unidade de calibragem de energia 32 é conectado ao cabo de energia de fundo de poço 24 através, por exemplo, de um cabo de monitoramento 34. A unidade de calibragem de energia 32 é configurada para computar a energia elétrica sendo distribuída para o topo do cabo de fundo de poço 24 pela medição de voltagens, correntes e/ou (no caso de sistema de energia A/C) o ângulo de fase. Em uma modalidade, um pacote de instrumentação de entrada 28 é fisicamente localizado, por exemplo, fundo de poço com relação ao motor 18, e um pacote de instrumentação de descarga 30 é fisicamente localizado, por exemplo, para cima no furo com relação ao motor 18. Os pacotes de instrumentação 28 e 30 podem incluir um ou mais sensores para medir a temperatura e/ou pressão de fluido antes (por exemplo, fundo de poço) e depois (por exemplo, em cima do furo) do conjunto ESP 16. Um computador de superfície ou outro processador 36 recebe dados de medição de todos os três pacotes de instrumentação, isso é, a unidade de calibragem de energia 32, o pacote de instrumentação de entrada 28 e o pacote de instrumentação de descarga 30. Em uma modalida-

de, a unidade de calibragem de energia 32 é diretamente conectada ao computador 36. Em outra modalidade, a unidade de calibragem de energia 32 é incorporada ao computador de superfície 36. Os dados dos pacotes de instrumentação de fundo de poço são transmitidos para o computador 36 na superfície, através do cabo de energia de fundo de poço 24 ou por qualquer outra técnica de transmissão adequada. O computador de superfície 36 utiliza uma combinação de medições de todos os três pacotes de instrumentação para computar a taxa de fluxo. O número e configuração específicos das unidades de processamento e computadores são ilustrativos. Qualquer número ou configuração de processadores pode ser utilizado para coletar dados e calcular a taxa de fluxo.

[0014] Como descrito aqui, "furo de poço" se refere a um único furo que cria todo ou parte de um poço perfurado. Como descrito aqui, "formações" se referem a várias características e materiais que podem ser encontrados em um ambiente de subsuperfície. De acordo, deve-se considerar que enquanto o termo "formação" geralmente se refere às formações geológicas de interesse, o termo "formações" como utilizado aqui, pode, em alguns casos, incluir quaisquer pontos ou volumes geológicos de interesse (tal como uma área de pesquisa). Adicionalmente, deve-se notar que "cordão" como utilizado aqui, se refere a qualquer estrutura adequada para reduzir uma finalização de conjunto contendo um ESP através de um furo de poço, e não está limitado à estrutura e configuração descritas aqui. Como utilizado aqui, uma localização "superior" ou "de cima do furo" se refere a uma localização ao longo de um comprimento do furo de poço 12 que está mais perto da superfície do que uma localização de referência. Da mesma forma, uma localização "inferior" ou "do fundo de poço" se refere a uma localização ao longo do comprimento do furo de poço 12 que está mais distante da superfície do que a localização superior ou uma localiza-

ção de referência.

[0015] Em uma modalidade, o conjunto ESP 16 é disposto no sistema de produção 10 em ou perto da parte de fundo de poço do cordão de produção 14.

[0016] O conjunto ESP inclui qualquer tipo de bomba 19 adequada para bombear o fluido de produção. Exemplos de tais tipos incluem uma bomba centrífuga possuindo um número de estágios, cada um possuindo um propulsor e um difusor, ou bomba de cavidade progressiva. Em uma modalidade, o motor 18 é um motor AC trifásico.

[0017] Os pacotes de instrumentação de entrada e descarga 28 e 30 são equipados com equipamento de transmissão para comunicar por fim com o computador de superfície 36. Tal equipamento de transmissão pode assumir qualquer forma desejada, e diferentes meios de transmissão e conexões podem ser utilizados. Em uma modalidade, o pacote de instrumentação de descarga 30 se comunica com o pacote de instrumentação de entrada 28 através de um condutor encerrado tubular (cabo TEC) que inclui um condutor ou condutores centralizados encapsulados em uma jaqueta de aço inoxidável ou outro aço. Nessa modalidade, o pacote de instrumentação de entrada 28 se comunica com a superfície enviando seus sinais, e também dos do pacote de instrumentação de descarga 30, através do motor 18 e do cabo de energia 24, por fim para o computador de superfície 36. Em outra modalidade, o pacote de instrumentação de entrada 28 se comunica com o pacote de instrumentação de descarga 30 através de um cabo TEC, e o pacote de instrumentação de descarga 30 se comunica com o computador de superfície 36 através do cabo TEC.

[0018] Em uma modalidade, o computador de superfície 36, os pacotes de instrumentação 28, 30 e/ou a unidade de calibragem de energia 32 incluem componentes como necessário para fornecer o armazenamento e/ou processamento de dados. Os componentes ilus-

trativos incluem, sem limitação, pelo menos um processador, armazenador, memória, dispositivo de entrada, dispositivo de saída e similares. O computador de superfície 36 pode, opcionalmente, ser configurado para controlar a velocidade do conjunto ESP 16.

[0019] Em uma modalidade, o sistema de medidor de fluxo térmico de equilíbrio de energia descrito aqui utiliza o conjunto ESP 16 como o elemento de aquecimento de fluido de um sistema de medidor de fluxo térmico. Nota-se que "ESP", como descrito aqui, inclui outros tipos de bomba de fundo de poço, tal como bombas de cavidade progressiva ou qualquer motor elétrico de fundo de poço acionando uma bomba de fundo de poço.

[0020] O sistema mede a energia elétrica distribuída para o motor. Em uma modalidade, a energia distribuída para o motor é medida na superfície, tal como pela unidade de calibragem de energia 32, com as perdas adequadas levadas em consideração para a energia perdida no cabo de fundo de poço 24 para o motor 18. Os pacotes de instrumentação 28, 30 são incluídos para medir a temperatura de fluido antes e depois do conjunto ESP ("aquecedor") 16. Adicionalmente, a pressão do fluido antes e depois do conjunto ESP 16 pode ser medida.

[0021] Em uma modalidade, o calor perdido para a formação é medido. Em uma modalidade, o calor perdido para a formação é um termo de erro relativamente pequeno, e pode ser calculado de forma aproximada, de acordo com a geometria do poço em torno do conjunto ESP 16 e conhecimento da formação.

[0022] Em uma modalidade, a equação de equilíbrio de energia fundamental utilizada pelo sistema é como se segue:

$$W_e = W_c + W_t + W_p + W_f$$

onde "We" é a energia elétrica (em watts) como medida na superfície ou em outro local selecionado e distribuída para o cabo de fundo de poço, "Wc" é a perda de energia elétrica (em watts) no cabo de fundo

de poço, "Wt" é a energia térmica distribuída para o fluxo de fluido cada segundo, "Wp" é a energia potencial de pressão distribuída para o fluido a cada segundo e "Wf" é a energia térmica perdida na formação a cada segundo.

[0023] Em uma modalidade, o computador 36 mede a temperatura, pressão e/ou energia elétrica e calcula a taxa de fluxo em tempo real para produzir uma taxa de fluxo em tempo real que possa ser utilizada diretamente no controle de velocidade ESP, e também enviada para os sistemas de controle convencionais tal como os sistemas de Aquisição de Dados e Controle de Supervisão (SCADA) para monitoramento, otimização de desempenho e controle. Dados em "tempo real" podem se referir a dados gerados durante ou logo depois da detecção e/ou aquisição por sensores. Essa informação pode então ser utilizada a fim de influenciar as intervenções ou fornecer medidas de segurança adicionais. Tais cálculos em tempo real são descritos abaixo.

[0024] Em uma modalidade, a taxa de fluxo volumétrico "Q" em metros³/segundo (m³/segundo) é calculada utilizando-se a seguinte equação:

$$Q=(We-Wc-Wf)/[(Td-Ti)*Cvf+Pd+Ph-Pi],$$

onde "Td" é a temperatura de fluido de descarga (em graus C) medida pelo pacote de instrumentação de descarga 30, e "Ti" é a temperatura de fluido de entrada (em graus C) medida pelo pacote de instrumentação de entrada 28. "Cvf" é a capacidade de calor de fluido volumétrico (em J/m³C). "Pd", "Ph" e "Pi" são a pressão de descarga, o limite máximo de pressão (pressão entre descarga e entrada devido à coluna de fluido entre esses dois pontos) e pressão de entrada, respectivamente, cada um dos quais é medido em Pascals (Pa).

[0025] Em uma modalidade, a energia elétrica (We) em watts (W) é medida na superfície e pode ser derivada da corrente medida ("I") em Amps (A) e voltagem ("V") em volts (V) pela seguinte equação:

$$We = I * V$$

[0026] A perda de energia no cabo (Wc) pode ser calculada a partir da resistência do cabo de fundo de poço (" R ") e a corrente pela seguinte equação:

$$Wc = I^2 * R$$

onde R é medido em ohms.

[0027] O calor perdido para a formação a cada segundo (Wf), pode ser calculado a partir da condutividade térmica da formação, a geometria do furo de poço 12, e o aumento de temperatura do conjunto ESP 16 acima da temperatura de formação natural. Alternativamente, esse parâmetro pode ser calculado pela taxa de resfriamento do conjunto ESP 16 quando é desligado depois de um longo período de operação ou depois de qualquer período selecionado de operação. A capacidade de calor térmico do conjunto ESP 16 pode ser calculada a partir do peso do conjunto ESP 16 multiplicado pela capacidade de calor específico do aço (ou outro material a partir do qual o conjunto é feito), como ilustrado na equação a seguir:

$$Wf = Rt * Mesp * Cs$$

onde " Rt " é a taxa instantânea de resfriamento (em C/segundo) depois que o ESP é desligado, " $Mesp$ " é a massa do conjunto ESP 16 em quilogramas (kg) e " Cs " é a capacidade de calor do aço em J/[KgC].

[0028] O limite máximo de pressão (Ph) é a pressão gerada pelo peso da coluna de fluido entre os sensores de pressão de entrada e descarga, e pode ser representada pela seguinte equação:

$$Ph = L * D * g * \cos(\text{desvio}).$$

onde " L " é o comprimento (em metros) entre os sensores de pressão de entrada e descarga, " D " é a densidade de fluido (em kg/m³), " g " é a gravidade local (em m/s²) e " desvio " é o desvio (em graus) do furo de poço 12 do plano vertical até a bomba 19.

[0029] A capacidade de calor volumétrico pode ser calculada utili-

zando-se a seguinte equação:

$$C_{vf} = WC \cdot C_{vw} + (1 - WC) \cdot C_{vo},$$

onde "WC" é o corte de água (sem dimensionamento), "Cvw" é a capacidade de calor volumétrico da água (em J/m³C) e "Cvo" é a capacidade de calor volumétrico de óleo (J/m³C). Nota-se que Cvw é geralmente aproximadamente o dobro do valor de Cvo.

[0030] A capacidade de calor volumétrico "Cvw" é significativa no cálculo de taxa de fluxo visto que existe aproximadamente uma razão de 2:1 entre a capacidade de calor volumétrico do óleo e da água, de modo que a taxa de fluxo calculada seja sensível ao "corte de água", definido como o volume de água como uma fração do volume de fluido total. Um valor razoável para o corte de água pode ser geralmente obtido de forma relativamente fácil na superfície através da amostragem ocasional do fluido de produção. Como consequência da sensibilidade do corte de água, deve-se notar que quando combinado com outro medidor de fluxo (tal como um medidor de fluxo venturi), o medidor de fluxo térmico pode, de fato, ser utilizado como um medidor de corte de água sensível se o fluxo de fundo de furo for conhecido a partir do medidor de fluxo alternativo. Essa pode ser uma combinação de energia para determinados poços.

[0031] O cálculo de taxa de fluxo é insensível à diferença em densidade entre a água e o óleo, visto que tipicamente essa diferença é apenas da ordem de 10%, e em qualquer caso, a densidade do fluido de produção aparece apenas no cálculo do limite superior de pressão relativamente pequeno (Ph).

[0032] Deve-se notar que as unidades de medição utilizadas nas equações acima são ilustrativas. Outras unidades como desejado ou necessário podem ser utilizadas na medição ou estimativa dos parâmetros e valores calculados acima.

[0033] A figura 3 ilustra um método 40 de monitoramento de uma

condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP). O método 40 inclui um ou mais estágios 41 a 45 descritos acima. O método pode ser realizado continuamente ou intermitentemente como desejado. O método é descrito aqui em conjunto com o conjunto ESP 16, apesar de o método poder ser realizado em conjunto com qualquer número e configuração de processadores, sensores e ferramentas. O método pode ser realizado por um ou mais processadores ou outros dispositivos capazes de receber e processar dados de medição, tal como o computador de superfície 36, a unidade de calibragem de energia 32 e/ou os pacotes de instrumentação 28, 30. Em uma modalidade, o método inclui a execução de todos os estágios 41 a 45 na ordem descrita. No entanto, determinados estágios 41 a 45 podem ser omitidos, estágios podem ser adicionados ou a ordem dos estágios alterada.

[0034] No primeiro estágio 41, o conjunto ESP 16 é rebaixado ao furo de poço 12.

[0035] No segundo estágio 42, o fluido de produção é bombeado através do conjunto ESP 16 e através do cordão de produção 14 para um local de superfície.

[0036] No terceiro estágio 43, um ou mais dos vários parâmetros associados com o conjunto ESP 16 são detectados. Tais parâmetros incluem, por exemplo, uma temperatura de fluido em um primeiro local e uma segunda localização ao longo do furo de poço 12, pressão de fluido e energia supridos para o conjunto ESP 16.

[0037] No quarto estágio 44, a taxa de fluxo de fluido através do conjunto ESP 16 é calculada com base em um ou mais dos vários parâmetros do conjunto ESP. Em uma modalidade, se a taxa de fluxo de fluido for conhecida, tal como pela medição da taxa de fluxo de fluido por um medidor de fluxo adicional (tal como um medidor de fluxo venturi), o corte de água do fluido é calculado.

[0038] Em uma modalidade, um modelo matemático é utilizado para calcular uma taxa de fluxo de fluido através do conjunto ESP 16 com base na diferença entre as temperaturas medidas, pressão de fluido e/ou energia suprida para o conjunto ESP 16.

[0039] No quinto estágio 45, indicações da taxa de fluxo ESP são transmitidas para um local remoto tal como o escritório da companhia de óleo, através de um sistema SCADA.

[0040] Os sistemas e métodos descritos aqui fornecem várias vantagens sobre as técnicas da técnica anterior. Os sistemas e métodos fornecem um medidor de fluxo simples e econômico para o monitoramento do fluxo de um ESP (ou qualquer bomba de fundo de poço utilizando um motor elétrico) que não possui quaisquer partes móveis e nenhuma restrição de fluxo. Adicionalmente, os sistemas e métodos evitam a necessidade de se instalar um cabo de energia dentro do poço, e evitam o custo real da energia elétrica necessária para se rodar o medidor de fluxo térmico de equilíbrio de energia, que pode ser proibitivo.

[0041] Em contraste com os medidores de fluxo convencionais, tais como os medidores de fluxo venturi, não há necessidade de se ter uma restrição de fluxo dentro do medidor de fluxo, o que causará uma determinada quantidade de perda de pressão. Tal perda de pressão é particularmente indesejável em um poço ESP, visto que um ESP é especificamente localizado no poço porque a pressão do fundo de poço não é suficiente para fornecer o fluxo de fluido necessário para a superfície. Qualquer perda de pressão no medidor de fluxo resulta em um fluxo de óleo reduzido, e/ou aumento dos custos de bombeamento. Os sistemas e métodos descritos aqui superam essa limitação.

[0042] Os sistemas e métodos descritos aqui também reduzem substancialmente o custo com relação ao desenvolvimento de um medidor de fluxo convencional com um aquecedor interno, em um poço

de óleo. Os sistemas e métodos descritos aqui criam um medidor de fluxo térmico utilizando o ESP existente como o elemento de aquecimento de fluido do sistema de medição de fluxo. Como resultado disso, nenhuma energia adicional é necessária para se alcançar as medições de taxa de fluxo de fluido utilizando o princípio de medidor de fluxo térmico.

[0043] Para suportar os ensinamentos apresentados aqui, várias análises e/ou componentes analíticos podem ser utilizados, incluindo os sistemas digitais e/ou analógicos. O sistema pode ter componentes tais como um processador, mídia de armazenamento, memória, entrada, saída, conexão de comunicações (com fio, sem fio, telemetria de lama pulsada (pulsed mud), óptica ou outros), interfaces de usuário, programas de software, processadores de sinal (digital ou analógico) e outros componentes similares (tal como resistores, capacitores, indutores e outros) para fornecer a operação e análises dos aparelhos e métodos descritos aqui em qualquer uma das várias formas bem apreciadas da técnica. É considerado que esses ensinamentos podem ser, mas não precisam ser, implementados em conjunto com um conjunto de instruções executáveis por computador armazenadas em um meio legível por computador, incluindo memória (ROM, RAM), óptica (CD-ROM), ou magnética (discos, discos rígidos), ou qualquer outro tipo que quando executado façam com que um computador implemente o método da presente invenção. Essas instruções podem fornecer a operação de equipamento, controle, coleta de dados e análise e outras funções consideradas relevantes por um projetista de sistema, proprietário, usuário ou outro pessoal, em adição às funções descritas nessa descrição.

[0044] Adicionalmente, vários outros componentes podem ser incluídos e utilizados para o fornecimento de aspectos dos ensinamentos apresentados aqui. Por exemplo, um suprimento de energia (por

exemplo, pelo menos um gerador, um suprimento remoto e uma bateria), sensor, eletrodo, transmissor, receptor, transceptor, controlador, unidade elétrica ou unidade eletromecânica podem ser incluídos para suportar os vários aspectos discutidos aqui ou suportar outras funções além dessa descrição.

[0045] Os versados na técnica reconhecerão que os vários componentes ou tecnologias podem fornecer determinada funcionalidade ou características necessárias ou benéficas. De acordo, essas funções e características que podem ser necessárias para suportar as reivindicações em anexo e suas variações, são reconhecidas como sendo inerentemente incluídas como uma parte dos ensinamentos apresentados aqui e uma parte da invenção descrita.

[0046] Enquanto a invenção foi descrita com referência às modalidades particulares, será compreendido pelos versados na técnica que várias mudanças podem ser realizadas e suas equivalências podem ser substituídas por elementos sem se distanciar do escopo da invenção. Adicionalmente, muitas modificações serão apreciadas pelos versados na técnica para adaptar um instrumento, situação ou material em particular aos ensinamentos da invenção sem se distanciar do escopo essencial da mesma. Portanto, pretende-se que a invenção não seja limitada à modalidade particular descrita como o melhor modo contemplado para a realização da invenção, mas que a invenção inclua todas as modalidades que se encontram dentro do escopo das reivindicações em anexo.

REIVINDICAÇÕES

1. Sistema de monitoramento da condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP) (16), o sistema caracterizado pelo fato de que compreende:

(a) um conjunto de furo configurado para ser disposto em um furo de poço (12) em uma formação de terra;

(b) o conjunto ESP (16) conectado ao conjunto de fundo de poço e incluindo um motor e uma bomba, o conjunto ESP (16) em comunicação elétrica com uma fonte elétrica de superfície através de um condutor;

(c) uma unidade de calibragem de energia (32) configurada para medir uma energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16); e

(d) um processador configurado para receber dados da unidade de calibragem de energia (32) e calcular uma taxa de fluxo do conjunto ESP (16) com base em pelo menos a energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16) em que pelo menos um dentre o processador e a unidade de calibragem de energia (32) é configurado para corrigir a energia elétrica medida devido à perda de energia entre a localização remota e o conjunto ESP (16) para gerar uma energia elétrica medida corrigida, e o pelo menos um dentre o processador e a unidade de calibragem é configurado para calcular a taxa de fluxo do ESP com base na energia elétrica medida corrigida.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente pelo menos uma unidade de calibragem ESP conectada ao conjunto ESP (16), a unidade de calibragem ESP incluindo pelo menos um dentre um sensor de temperatura e um sensor de pressão.

3. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que o processador é configurado para calcular a taxa de fluxo com base em pelo menos a energia elétrica suprida para o con-

junto ESP (16), uma temperatura de fluido de entrada, uma pressão de entrada, uma temperatura de fluido de descarga e uma pressão de fluido de descarga.

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que o processador é configurado para calcular a taxa de fluxo com base na seguinte equação:

$$Q = (W_e - W_c - W_f) / [(T_d - T_i) C_{vf} + P_d + P_h - P_i],$$

em que "We" é a energia elétrica como medida pela unidade de calibragem de energia (32), "Wc" é a perda de energia elétrica entre a unidade de calibragem de energia (32) e o conjunto ESP (16), "Wf" é a energia de calor perdida dentro da formação, "Td" é a temperatura de fluido de descarga, "Ti" é a temperatura de fluido de entrada, "Cvf" é uma capacidade de aquecimento de fluido volumétrico, e "Pd", "Ph" e "Pi" são uma pressão de descarga, um limite máximo de pressão e uma pressão de entrada, respectivamente.

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma unidade de calibragem ESP inclui:

(a) uma unidade de calibragem de entrada incluindo um primeiro sensor de temperatura, a unidade de calibragem de entrada disposta em uma primeira extremidade do conjunto ESP (16); e

(b) uma unidade de calibragem de descarga incluindo um segundo sensor de temperatura, a unidade de calibragem de descarga disposta em uma segunda extremidade do conjunto ESP (16).

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 5, caracterizado pelo fato de que a unidade de calibragem de entrada também inclui um primeiro sensor de pressão, e a unidade de calibragem de descarga também inclui um segundo sensor de pressão.

7. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a unidade de calibragem de energia (32) está localizada em um local remoto com relação ao conjunto ESP (16) e é co-

nectado eletricamente com o condutor.

8. Sistema, de acordo com a reivindicação 7, caracterizado pelo fato de que a localização remota é uma localização de superfície.

9. Método de monitoramento de uma condição de um conjunto de bomba submersível elétrica de fundo de poço (ESP), o método caracterizado pelo fato de que compreende:

(a) disposição do conjunto ESP (16) em um furo de poço (12) em uma formação de terra, o conjunto ESP (16) incluindo um motor e uma bomba, o conjunto ESP (16) em comunicação elétrica com uma fonte elétrica de superfície;

(b) bombeamento do fluido de furo de poço (12) através de um conduto de produção através do conjunto ESP (16);

(c) medição de uma energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16); e

(d) cálculo de uma taxa de fluxo do ESP com base em pelo menos a energia elétrica suprida para o conjunto ESP (16) e uma perda de calor no fluido de furo de poço (12) para uma formação de terra.

10. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que o cálculo da taxa de fluxo inclui o cálculo da taxa de fluxo com base em uma temperatura de fluido de entrada, uma temperatura de fluido de descarga e uma pressão de fluido.

11. Método, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que o cálculo da taxa de fluxo inclui o cálculo da taxa de fluxo com base na seguinte equação:

$$Q = (We - Wc - Wf) / [(Td - Ti) C_{vf} + P_d + P_h - P_i]$$

em que "We" é a energia elétrica como medida pela unidade de calibragem de energia (32), "Wc" é a perda de energia elétrica entre a unidade de calibragem de energia (32) e o conjunto ESP (16), "Wf" é a energia de calor perdida dentro da formação, "Td" é a temperatura do fluido de descarga, "Ti" é a temperatura de fluido de entrada,

"Cvf" é uma capacidade de calor de fluido volumétrico, e "Pd", "Ph" e "Pi" são uma pressão de descarga, um limite máximo de pressão, e uma pressão de entrada, respectivamente.

12. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a medição da energia elétrica inclui a medição da energia elétrica em um local de superfície e a correção da energia elétrica medida devido à perda de energia entre o local de superfície e o conjunto ESP (16).

13. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a perda de calor é calculada com base em uma geometria do furo de poço, uma condutividade térmica da formação e uma diferença de temperatura entre o conjunto ESP (16) e a formação em uma profundidade do ESP.

14. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que a perda de calor é calculada com base em uma capacidade de calor do conjunto ESP (16) e uma taxa de queda de temperatura quando o conjunto ESP (16) é desligado depois que o conjunto ESP (16) é operado por um período de tempo selecionado.

15. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente o cálculo de um corte de água do fluido de furo de poço com base na taxa de fluxo.

16. Método, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que o cálculo do corte de água inclui a medição de uma segunda taxa de fluxo através de um segundo medidor de fluxo disposto em comunicação por fluido com o fluido do furo de poço.

17. Método, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente a medição de pelo menos uma dentre a temperatura e a pressão.

18. Método, de acordo com a reivindicação 17, caracterizado pelo fato de que compreende adicionalmente a medição de pelo

menos uma dentre a temperatura e a pressão através de uma unidade de calibragem de entrada em uma primeira extremidade do conjunto ESP (16) e uma unidade de calibragem de descarga disposta em uma segunda extremidade do conjunto ESP (16).

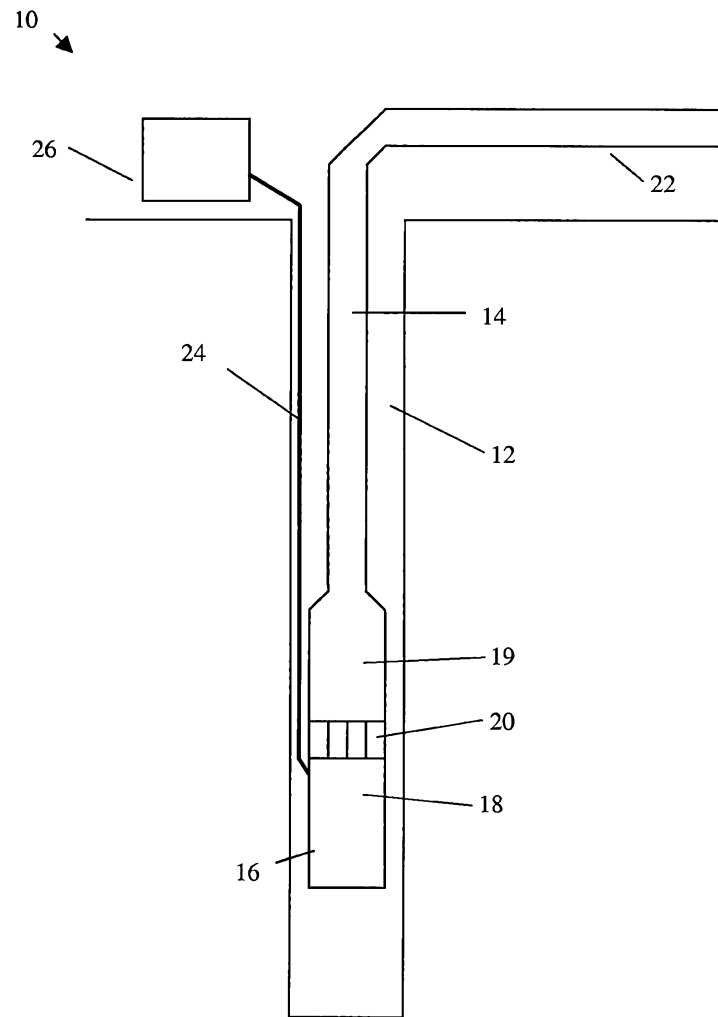


FIG. 1

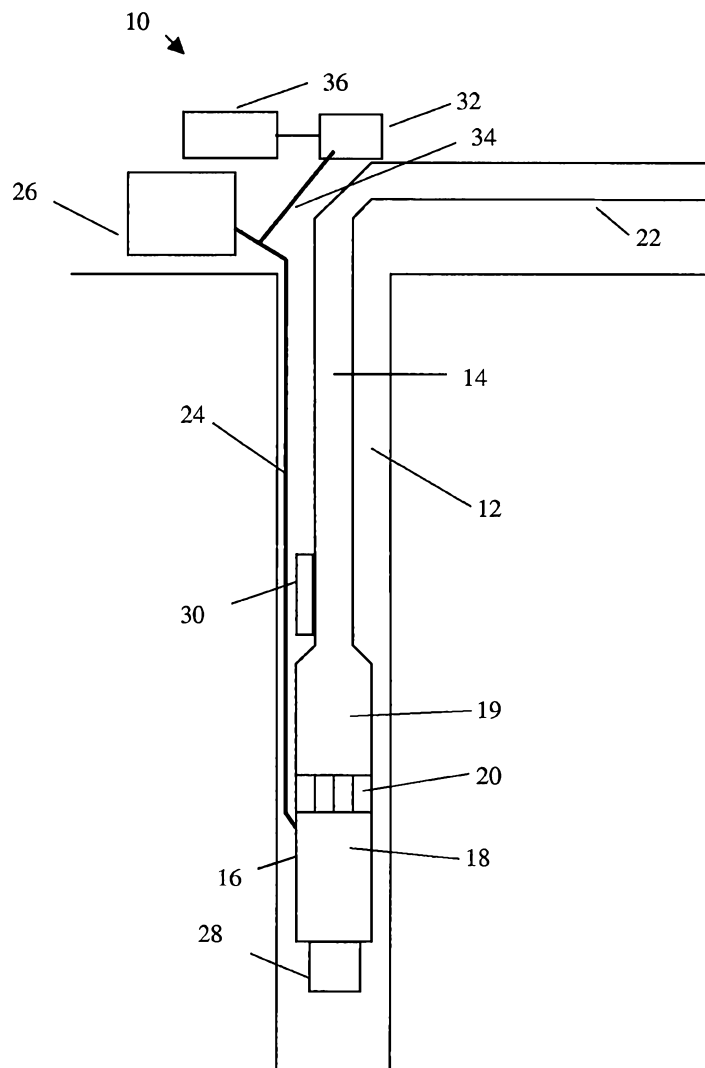


FIG. 2

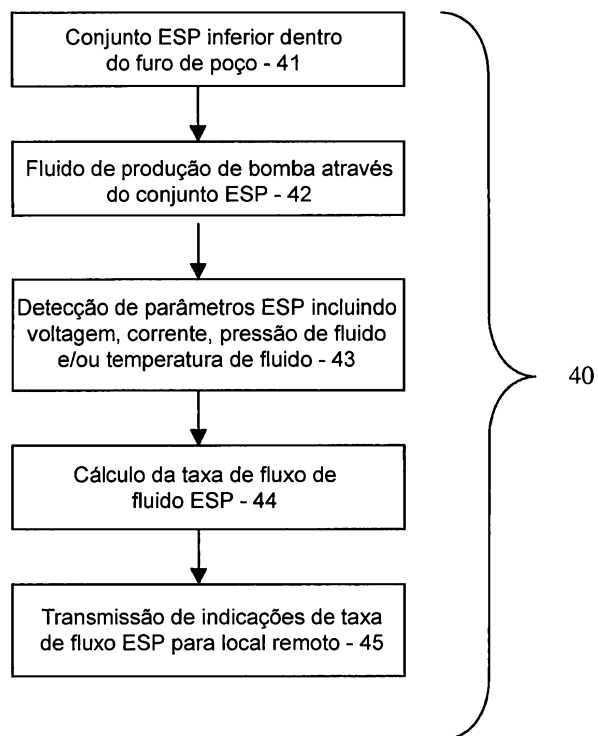


FIG. 3