



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

**(11) PI 1002663-0 B1**



\* B R P I 1 0 0 2 6 6 3 B 1 \*

**(22) Data do Depósito: 16/06/2010**

**(45) Data de Concessão: 29/12/2020**

**(54) Título:** MÉTODO IMPLEMENTADO EM COMPUTADOR PARA DETECÇÃO DE BLOQUEIO DE GÁS EM UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA DE ESTÁGIO MÚLTIPLO PARA O BOMBEAMENTO DE FLUIDO EM UM FURO DE POÇO E CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA

**(51) Int.Cl.:** E21B 43/00.

**(30) Prioridade Unionista:** 17/06/2009 US 12/486,121.

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

**(72) Inventor(es):** ROBERT D. ALLEN; JOHN MICHAEL LEUTHEN; DICK L. KNOX; JERALD R. RIDER; TOM G. YOHANAN; BROWN LYLE WILSON; BRYAN D. SCHULZE.

**(57) Resumo:** DISPOSITIVO E MÉTODO PARA DETECÇÃO DE BLOQUEIO DE GÁS EM UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA Um dispositivo e um método podem detectar e também romper uma ocorrência de bloqueio de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica em um furo de poço, com base em dados de superfície ou de poço abaixo, sem a necessidade de uma intervenção de operador. Para a detecção de uma ocorrência de bloqueio de gás, um valor instantâneo é monitorado usando-se um sensor. Então, um controlador compara o valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada para se detectar, desse modo, a ocorrência de um bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica. Os sensores podem incluir, por exemplo, um medidor de pressão diferencial, um medidor de pressão localizado em um estágio de bomba localizado em direção à entrada, um sensor de temperatura localizado em direção à descarga, um detector de gás livre localizado próximo da descarga de bomba, um medidor de resistividade elétrica, um medidor de fluxo localizado na tubulação de produção de superfície, e um sensor de vibração afixado a uma coluna de tubulação para a medição de uma assinatura de vibração.

**MÉTODO IMPLEMENTADO EM COMPUTADOR PARA DETECÇÃO DE BLOQUEIO DE GÁS EM UM CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA DE ESTÁGIO MÚLTIPLO PARA O BOMBEAMENTO DE FLUIDO EM UM FURO DE POÇO E CONJUNTO DE BOMBA SUBMERSÍVEL ELÉTRICA**

**Antecedentes**

1. Pedidos Relacionados

[001] Este pedido é uma continuação em parte do Pedido de Patente U.S. Nº 12/144.092 de Leuthen et al., intitulado "Device, Method and Program Product to Automatically Detect and Break Gas Locks in an ESP", depositado em 23 de junho de 2008, o qual reivindica uma prioridade para o Pedido de Patente Provisória U.S. Nº 60/946.190, de Leuthen et al., intitulado "Device, Method and Program Product to Automatically Detect and Break Gas Locks in an ESP", depositado em 26 de junho de 2007, todos os quais sendo incorporados, cada um, aqui em suas totalidades.

2. Campo da Invenção

[002] A presente invenção se refere, em geral, à melhoria da eficiência de produção de poços subterrâneos e, em particular, a um dispositivo e a um método o qual automaticamente detecta bloqueios de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica ("ESP").

3. Descrição da Técnica Anterior

[003] É bem sabido que um bloqueio de gás pode ocorrer quando uma ESP ingere gás suficiente para que a ESP não possa mais bombear fluido para a superfície devido, por exemplo, a grandes bolhas de gás no fluido do poço. Uma falha em resolver um ESP bloqueado com gás pode resultar em um superaquecimento e uma falha prematura. A prática

convencional quanto a uma ESP é regular um limite baixo na corrente do motor para determinar quando a bomba está em um bloqueio de gás. Quando este limite é cruzado, a bomba tipicamente é parada e uma nova partida não é tentada até a coluna de fluido na tubulação de produção ter se dissipado através da bomba. Este tempo de espera representa uma produção perdida.

[004] Também é conhecido que há muitos métodos para a determinação do limite de corrente baixa apropriado e que um limite insatisfatório pode resultar em danos ao motor ou paradas inoportunas.

#### **Sumário da Invenção**

[005] Tendo em vista o precedente, as modalidades da presente invenção proveem um dispositivo e um método para uso com um conjunto de bomba submersível elétrica o qual pode, por exemplo, detectar e romper uma ocorrência de bloqueio de gás sem a necessidade de uma intervenção de operador.

[006] As modalidades da presente invenção podem detectar uma ocorrência de bloqueio de gás pela monitoração através de um sensor de um valor instantâneo de uma propriedade de um fluido associado a um conjunto de bomba submersível elétrica e pela comparação do valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada por um controlador. O sensor pode estar localizado poço abaixo ou na superfície.

[007] Em uma modalidade de exemplo, o sensor pode ser um medidor de pressão diferencial para a medição de uma pressão diferencial do fluido na bomba entre a entrada de bomba e a descarga de bomba, por exemplo, o fundo e o topo

da bomba, para a determinação de uma queda na pressão. Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor pode ser um medidor de pressão localizado em um estágio de bomba localizado em direção à entrada, por exemplo, os estágios de fundo da bomba, para a determinação de uma queda na pressão. Em ainda uma outra modalidade de exemplo, o sensor pode ser um sensor de temperatura de fluido localizado em direção à descarga, por exemplo, o topo da bomba, para a determinação de um aumento na temperatura.

[008] Em outras modalidades de exemplo, o sensor pode ser um detector de gás livre localizado na bomba, para a determinação de um nível alto de gás, ou o sensor pode ser um medidor de resistividade elétrica localizado na bomba para a determinação de um nível alto de resistividade. Alternativamente, o sensor pode ser um medidor de fluxo na tubulação de produção da superfície para a determinação de nenhum ou de pouco fluxo.

[009] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor pode ser um sensor de vibração afixado a uma coluna de tubulação para a medição de uma aceleração do fluido na coluna de tubulação para a determinação de uma assinatura de vibração em resposta à aceleração medida do fluido. A assinatura de vibração medida pode ser então comparada com uma ou mais assinaturas de vibração predeterminadas armazenadas na memória e associadas à bloqueio de gás para se indicar, desse modo, um bloqueio de gás.

[0010] Uma vez que a ocorrência de bloqueio de gás seja detectada, as modalidades da presente invenção podem, por exemplo, romper a ocorrência de bloqueio de gás. O método pode incluir, por exemplo, a manutenção de uma

velocidade de operação de bomba. A manutenção de uma velocidade de operação de bomba permite que o fluido de poço permaneça acima da bomba em uma condição estática e permite que as bolhas de gás no fluido subam acima do fluido, facilitando uma separação de gás e líquido acima da bomba. Após um período de espera de uma duração predeterminada, a velocidade de operação da bomba é reduzida para um valor predeterminado definindo um valor de lavagem, desse modo se permitindo que o fluido de poço caia de volta através da bomba, lavando o gás aprisionado. Após um período de lavagem predeterminado, a velocidade de operação da bomba é restaurada para a velocidade mantida previamente. As modalidades da presente invenção têm a capacidade de lavar a bomba e retornar o sistema de volta para a produção, sem requerer uma parada do sistema. Em uma modalidade preferida, o período de espera está entre aproximadamente 6 a 7 minutos, o período de lavagem está entre aproximadamente 10 e 15 segundos, e a velocidade de operação da bomba é reduzida durante o período de lavagem para entre aproximadamente 20 e 25 Hz.

[0011] Além disso, as modalidades da presente invenção proveem um algoritmo para a otimização de uma velocidade de operação do conjunto de bomba submersível elétrica para a maximização da produção, sem a necessidade de uma intervenção de operador. O algoritmo aumenta a velocidade de operação da bomba por um incremento predeterminado, por exemplo, de 0,1 Hz até uma velocidade de operação de bomba máxima pré-regulada, por exemplo, de 62 Hz, quando o valor instantâneo estiver continuamente acima do valor de limite por um período de estabilização

predeterminado, por exemplo, de 15 minutos. O algoritmo diminui a velocidade de operação da bomba por um incremento predeterminado, por exemplo, de 0,1 Hz, se o valor instantâneo estiver continuamente abaixo do valor de limite por um período de inicialização predeterminado, por exemplo, de 2 minutos.

[0012] As modalidades desta invenção têm vantagens significativas. As modalidades de exemplo proveem a capacidade de se detectar de forma confiável um bloqueio de gás, sem uma intervenção de operador, com base nos dados de superfície ou em dados de poço abaixo. Também, as modalidades de exemplo têm a capacidade de romperem um bloqueio de gás uma vez detectado, sem requerer que o sistema seja parado, melhorando a eficiência e a confiabilidade na produção de poços subterrâneos.

#### **Breve Descrição dos Desenhos**

[0013] Alguns dos recursos e benefícios da presente invenção tendo sido declarados, outros se tornarão evidentes conforme a descrição prosseguir, quando tomada em conjunto com os desenhos associados, nos quais:

[0014] a FIG. 1 é uma vista em perspectiva lateral de um conjunto de ESP construído de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[0015] a FIG. 2 é uma vista esquemática lateral de um conjunto de ESP construído de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[0016] a FIG. 3 é um fluxograma de um método de detecção e ruptura de bloqueio de gás de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[0017] a FIG. 4 é um fluxograma de um método de

detecção e ruptura de bloqueio de gás de acordo com uma modalidade da presente invenção;

[0018] a FIG. 5 é um diagrama esquemático de um controlador para a detecção e a ruptura de bloqueio de gás de acordo com uma modalidade da presente invenção; e

[0019] a FIG. 6 é um diagrama esquemático de um controlador que tem um produto de programa de computador armazenado na memória do mesmo de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[0020] Embora a invenção seja descrita em relação às modalidades preferidas, será entendido que não se pretende limitar a invenção àquela modalidade. Ao contrário, pretende-se cobrir todas as alternativas, modificações e equivalentes, conforme puderem ser incluídos no espírito e no escopo da invenção, conforme definido pelas reivindicações em apenso.

#### **Descrição Detalhada da Invenção**

[0021] A presente invenção será descrita mais plenamente, agora, com referência aos desenhos associados, nos quais as modalidades da invenção são mostradas. Esta invenção pode ser concretizada, contudo, de muitas formas diferentes, e não deve ser construída como limitada às modalidades ilustradas estabelecidas aqui; ao invés disto, estas modalidades são providas de modo que esta exposição seja cuidadosa e completa, e levarão plenamente o escopo da invenção para aqueles versados na técnica. Números iguais se referem a elementos iguais por toda ela.

[0022] As modalidades da presente invenção podem detectar uma ocorrência de bloqueio de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica pela monitoração através de

um sensor de um valor instantâneo de uma propriedade de um fluido associada a um conjunto de bomba submersível elétrica e pela comparação do valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada por um controlador. As propriedades de um fluido incluem condições, tais como pressão, uma pressão diferencial, temperatura, detector de gás livre, resistividade elétrica e fluxo. O sensor pode estar localizado poço abaixo ou na superfície. Da mesma forma, o controlador pode estar localizado poço abaixo ou na superfície.

[0023] Com referência, agora, à Figura 1, um tipo de conjunto de bomba submersível elétrica (ESP) em um sistema de produção de poço 10 inclui uma bomba centrífuga 22, um motor 20 e um conjunto de selo 23 localizado entre a bomba 22 e o motor 20, localizado em um furo de poço 28. O sistema 10 ainda inclui um acionamento de velocidade variável 16 e um dispositivo de monitoração e de controle de dados 12, por exemplo, um controlador, tipicamente localizado na superfície 38 e associado ao acionamento de velocidade variável 16. O sistema 10 frequentemente inclui um transformador elevador 21 localizado entre o acionamento de velocidade variável 16 e um cabo de potência 18. O cabo de potência 18 provê potência e, opcionalmente, comunicações entre o acionamento de velocidade variável 16 e o motor 20. O acionamento de velocidade variável 16 pode operar como uma fonte de potência para a provisão de potência elétrica para acionamento do motor 20. O cabo 18 tipicamente se estende por milhares de pés (1 pé = 0,305 m) e, desse modo, introduz uma impedância elétrica significativa entre o acionamento de velocidade variável 16

(ou o transformador elevador 21) e o motor 20. Pela alteração da voltagem de saída e da frequência do acionamento de velocidade variável 16, o controlador 12 associado ao acionamento de velocidade variável 16 controla a voltagem nos terminais do motor 20. Tipicamente, o cabo 18 se conecta a uma extensão de fio de motor (não mostrada) próxima do sistema de bombeamento. A extensão de fio de motor continua no furo de poço 28 adjacente ao conjunto de bomba e termina no que é comumente referido como uma "conexão de tampa de pote" no motor 20. Em uma modalidade, o terminal de motor compreende a conexão de tampa de pote.

[0024] A Figura 2 ilustra uma modalidade de exemplo de um sistema de produção de poço 10, que inclui um dispositivo de monitoração e de controle de dados 12, por exemplo, um controlador. O sistema 10 inclui uma fonte de potência 14 que compreende uma fonte de potência de corrente alternada, tal como uma linha de potência elétrica (eletricamente acoplada a uma planta de concessionária de potência) ou um gerador eletricamente acoplado a e provendo potência trifásica para um controlador de motor 16, a qual tipicamente é uma unidade de ângulo de visão de velocidade variável. O controlador de motor 16 pode ser qualquer uma das variedades bem conhecidas, tais como acionamentos de frequência variável de largura de pulso modulada ou outros controladores conhecidos, os quais sejam capazes de variação da velocidade do sistema de produção 10. Ambos a fonte de potência 14 e o controlador de motor 16 estão localizados no nível de superfície do furo de poço e são eletricamente acoplados a um motor de indução 20 através de um cabo de potência trifásico 18. Um transformador opcional

21 pode ser eletricamente acoplado entre o controlador de motor 16 e o motor de indução 20, de modo a se elevar ou abaixar a voltagem, conforme requerido.

[0025] Ainda com referência às modalidades de exemplo ilustradas nas Figuras 1 e 2, o sistema de produção de poço 10 também inclui um equipamento de elevação artificial de poço abaixo para ajudar na produção, o que compreende o motor de indução 20 e a bomba submersível elétrica 22 ("ESP"), a qual pode ser do tipo mostrado na Patente U.S. Nº 5.845.709. O motor 20 é acoplado de forma eletromecânica à e aciona a bomba 22, o que induz o fluxo de gases e líquido para cima pelo furo de poço até a superfície para processamento adicional. O cabo trifásico 18, o motor 20, o controlador de motor 16 e a bomba 22 formam um sistema de ESP.

[0026] A bomba 22 pode ser, por exemplo, uma bomba centrífuga de estágio múltiplo tendo uma pluralidade de estágios de propulsor e difusor rodando, os quais aumentam o nível de pressão dos fluidos de poço para bombeamento dos fluidos até a localização na superfície. A extremidade superior da bomba 22 é conectada à extremidade inferior de uma linha de descarga 34 para transporte de fluidos de poço para uma localização desejada. Tipicamente, uma seção de selo 23 é conectada à extremidade inferior de bomba 22, e um motor 20 é conectado à extremidade inferior da seção de selo para a provisão de potência para a bomba 22.

[0027] O sistema de produção de poço 10 também inclui o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12, tipicamente uma unidade de superfície, o qual pode se comunicar com sensores poço abaixo 24a a 24n, por exemplo,

através de um enlace bidirecional 24 ou, alternativamente, através do cabo 18. Em uma modalidade de exemplo, os sensores 24a a 24n monitoram e medem várias condições no furo de poço, tais como pressão de descarga de bomba, pressão de admissão de bomba, pressão na superfície da tubulação, vibração, temperatura ambiente do fluido de furo de poço, voltagem e/ou corrente no motor, temperatura de óleo do motor e similares. Embora não mostrado, o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 também pode incluir um sistema de aquisição de dados, perfilagem (registro) e controle, o qual permitiria que o dispositivo 12 controlasse o sistema de poço abaixo, com base nas medições poço abaixo recebidas a partir dos sensores 24a a 24n, por exemplo, através do enlace bidirecional 24. Os sensores 24a a 24n podem estar localizados poço abaixo no ou próximos do motor de indução 20, da ESP 22 ou de qualquer outra localização no furo de poço. Qualquer número de sensores pode ser utilizado, conforme desejado.

[0028] Com referência adicional à Figura 2, o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 é ligado aos sensores 24a a 24n através do enlace de comunicação 24 e do controlador de motor 16 através do enlace 17, de modo a se detectarem e romperem bloqueios de gás, sem se requerer uma parada do sistema. Em uma modalidade de exemplo, a funcionalidade de detecção e ruptura de bloqueio de gás do dispositivo 12 é conduzida com base unicamente em dados de superfície, tais como corrente, saída de voltagem e/ou torque, recebidos a partir do controlador de motor 16 através do enlace bidirecional 17. Em outras modalidades, a funcionalidade também pode ser

efetuada com base nos dados recebidos a partir de um ou mais dos sensores de poço abaixo 24a a 24n.

[0029] O dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 se comunica por um sistema de produção de poço 10 usando os enlaces de comunicação descritos aqui, pelo menos em uma base periódica utilizando técnicas, tais como, por exemplo, aquelas descritas na Patente U.S. Nº 6.587.035, intitulada METHOD FOR MULTI-PHASE DATA COMMUNICATIONS AND CONTROL OVER AN ESP POWER CABLE e na Patente U.S. Nº 6.798.338 intitulada RF COMMUNICATION WITH DOWNHOLE EQUIPMENT. O dispositivo 12 é acoplado ao controlador de motor 16 através do enlace bidirecional 17, de modo a se receberem medições, tais como, por exemplo, amperagem, corrente, voltagem e/ou frequência com referência à potência trifásica sendo transmitida poço abaixo. Esses sinais de controle regulariam a operação do motor e/ou da bomba 22 para a otimização do conjunto de produção de poço 10, tal como, por exemplo, para a detecção e a ruptura de bloqueios de gás. Mais ainda, estes sinais de controle podem ser transmitidos por algum outro destino desejado para análise adicional e/ou processamento.

[0030] O dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 controla o controlador de motor 16 pelo controle de parâmetros tais como liga/desliga, frequência (F), e/ou voltagens, cada um em uma de uma pluralidade de frequências específicas, o que efetivamente varia a velocidade de operação do motor 20. Esse controle é conduzido através do enlace 17. As funções do dispositivo 12 podem se executar no mesmo hardware como os outros componentes compreendendo o dispositivo 12, ou cada

componente pode operar em um elemento de hardware em separado. Por exemplo, as funções de processamento de dados, aquisição de dados/perfilagem e de controle de dados da presente invenção podem ser obtidas através de componentes separados ou todos combinados no mesmo componente.

[0031] Durante uma produção, alguns poços produzem gás juntamente com óleo. Como tal, há uma tendência de o gás entrar no conjunto de bomba 22 juntamente com o fluido de poço, o que pode diminuir o volume de óleo produzido ou mesmo levar a um "bloqueio de gás". Um bloqueio de gás é uma condição em um conjunto de ESP na qual o gás interfere com a operação apropriada dos propulsores e outros componentes de bomba, evitando o bombeamento de líquido.

[0032] Com referência à Figura 3, um algoritmo de exemplo para a detecção e a ruptura de um bloqueio de gás será descrito, agora. O dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 também compreende um processador e uma memória, o que realiza as funções lógicas, computacionais e de tomada de decisão da presente invenção, e pode assumir qualquer forma, conforme entendido por aqueles versados na técnica. Veja, por exemplo, as Figuras 5 e 6. A memória pode incluir uma memória volátil e não volátil conhecida por aqueles versados na técnica, incluindo, por exemplo, uma RAM, uma ROM, e discos magnéticos ou óticos, apenas para denominar uns poucos.

[0033] Na etapa 201, o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12, por exemplo, o controlador, monitora continuamente a corrente de saída, a voltagem e/ou o torque do controlador de motor 16 através do enlace

bidirecional 17, de modo a detectar e romper bloqueios de gás de acordo com a presente invenção. Contudo, na alternativa, as medições de saída dos sensores poço abaixo 24a a 24n também podem ser monitorados. Na etapa 203, o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 gerará um valor de limite da corrente de motor e/ou do torque a partir de dados históricos. O valor de limite pode ser com base em um valor histórico, tal como uma média de longa duração da corrente do motor ou do torque do motor usando uma constante no tempo longa o bastante para filtrar quaisquer variações de curta duração nessas medições. Alternativamente, o valor de limite pode ser com base em um outro valor histórico, tal como um valor de pico para a dada janela de dados. Quando um bloqueio de gás realmente ocorre, a corrente de motor ou o torque de motor tipicamente diminuirá em 30 a 50%. Para a determinação de uma queda de 30% no torque de motor e/ou corrente, o valor de limite pode ser gerado para ser, por exemplo, de 70% de um valor médio de longa duração. Alternativamente, o valor de limite pode ser gerado para ser de 65% a 75% de um valor de pico para uma dada janela de dados históricos, isto é, um período predeterminado entre 2 e 5 minutos, preferencialmente os últimos 3 minutos. Após isso, na etapa 205, o valor instantâneo é continuamente comparado com o valor de limite. Em uma outra modalidade preferida, o torque de motor é medido ao invés da corrente de motor, porque o torque é mais sensível a fenômenos de poço abaixo. Se o dispositivo de controle 12 não detectar uma ocorrência de bloqueio de gás com base na comparação na etapa 207, o algoritmo retorna em laço para a etapa 201 e começa o

processo de novo.

[0034] Caso o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 detecte uma ocorrência de bloqueio de gás, o dispositivo de controle 12 prosseguirá para a etapa 209. Nesta etapa, o dispositivo de controle 12 instruirá o controlador de motor 16 através do enlace 17 a manter a mesma velocidade de operação para um período de espera predeterminado. Na modalidade mais preferida, este período de espera tem uma duração de 6 a 7 minutos, embora outros períodos de espera, incluindo um período de espera de 3 a 15 minutos, possam ser programados, com base nas restrições de projeto. Em uma modalidade alternativa, o período de espera será limitado, pelo menos em parte, por uma temperatura de bomba máxima predeterminada, a qual seria comunicada para o dispositivo 12 a partir dos sensores de poço abaixo 24a a 24n através do enlace de comunicação 24.

[0035] Ainda com referência ao algoritmo de exemplo da Figura 3, como o motor 20 mantém esta velocidade de operação na etapa 209, ele produz uma condição um pouco estática já que a bomba 22 produz apenas uma altura hidrostática suficiente para suportar a coluna de fluido na tubulação acima, mas não o bastante para bombear o fluido para cima até a superfície. Como resultado, as bolhas de gás no fluido diretamente acima da bomba começam a subir, enquanto o fluido se deposita e se torna mais denso.

[0036] Na etapa 211, o dispositivo de monitoração e de controle de dados 12 termina o período de espera e diminui a frequência de operação para um valor mais baixo, tal como, por exemplo, de 20 a 25 Hz. A frequência de operação normal é tipicamente regulada em 60 Hz. Esta

frequência de operação diminuída é mantida por um período de tempo predeterminado, tal como, por exemplo, 10 a 15 segundos. Durante este tempo, a bomba 22 não pode mais suportar a coluna de fluido imediatamente acima dela e, assim, o fluido começa a cair de volta através da bomba 22, lavando-se o gás aprisionado. Ao fim deste período de velocidade baixa da etapa 211, o dispositivo 12 aumenta a frequência de operação da bomba 22 de volta para o normal, e a produção começa de novo na etapa 213.

[0037] As modalidades da presente invenção ainda proveem um algoritmo para a otimização de uma velocidade de operação do conjunto de bomba submersível elétrica para a maximização da produção, sem necessidade de uma intervenção de operador. O algoritmo aumenta a velocidade de operação da bomba por um incremento predeterminado, por exemplo, entre 0,08 e 0,4 Hz, preferencialmente 0,1 Hz, até uma velocidade de operação de bomba máxima pré-regulada, por exemplo, de 62 Hz, quando o valor instantâneo estiver continuamente acima do valor de limite por um período de estabilização predeterminado, por exemplo, entre 10 e 20 minutos, preferencialmente 15 minutos. O algoritmo diminui a velocidade de operação da bomba por um incremento predeterminado, por exemplo, entre 0,08 e 0,4 Hz, preferencialmente 0,1 Hz, se o valor instantâneo estiver continuamente abaixo do valor de limite por um período de inicialização predeterminado, por exemplo, entre 90 segundos e 3 minutos, preferencialmente 2 minutos. Na ausência de um bloqueio de gás ou de bolhas de gás por um período de tempo razoável, o algoritmo aumenta a velocidade de operação da bomba de uma forma escalonada para a

maximização da produção. Na presença de bolhas de gás, mas não de um bloqueio de gás verdadeira, o algoritmo não altera a velocidade de operação da bomba. Bolhas de gás, sem causarem uma ocorrência de bloqueio de gás, podem causar uma queda temporária na corrente do motor ou no torque do motor, conforme entendido por aqueles versados na técnica. Se o algoritmo detectar uma ocorrência de bloqueio de gás, em que o valor instantâneo está continuamente abaixo do valor de limite por um período de tempo, por exemplo, 2 minutos, o algoritmo diminui a velocidade de operação da bomba (e a taxa de produção) por um incremento pequeno para melhor se ajustar ao nível de gás e tentar evitar ocorrências futuras de bloqueio de gás, conforme entendido por aqueles versados na técnica.

[0038] Conforme ilustrado na Figura 4, as modalidades da presente invenção podem incluir um método 150 de detecção de um bloqueio de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica. O método 150 pode incluir a monitoração através de um sensor 24a a 24n de um valor instantâneo de uma propriedade de um fluido associado a um conjunto de bomba submersível elétrica (etapa 152). O conjunto pode incluir uma bomba submersível elétrica de estágio múltiplo 22 que tem uma entrada 35 e uma descarga 36, um motor de bomba 20 para acionamento da bomba 22, uma linha de descarga 34 para o transporte do fluido bombeado a partir da descarga de bomba até a superfície 38, e um controlador 12 configurado para receber os dados do sensor 24a a 24n e para a detecção de uma ocorrência de bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica. O método 150 também pode incluir a comparação do valor instantâneo

com um valor de limite por uma duração predeterminada pelo controlador 12 para se detectar, desse modo, a ocorrência de um bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica (etapa 153). Se o bloqueio de gás for detectado pelo controlador (etapa 154), o método ainda poderá incluir a ruptura da ocorrência detectada de bloqueio de gás por: manutenção de uma velocidade de operação de bomba por uma primeira duração predeterminada que define um período de espera para facilitação de uma separação de gás e líquido localizados acima da bomba (etapa 155), redução da velocidade de operação de bomba para um valor predeterminado que define um valor de lavagem por uma segunda duração predeterminada definindo um período de lavagem de modo que o fluido localizado acima da bomba caia de volta através da bomba, lavando qualquer gás aprisionado (etapa 156), e restauração da velocidade de operação de bomba para a velocidade de operação de bomba mantida previamente (etapa 157). Em uma modalidade preferida, o período de espera está entre 6 e 7 minutos, o período de lavagem está entre 10 e 15 segundos, e a velocidade de operação de bomba é reduzida durante o período de lavagem para entre 20 e 25 Hz.

[0039] Em uma modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um medidor de pressão diferencial para a medição de uma pressão diferencial do fluido na bomba entre a entrada de bomba 35 e a descarga de bomba 36, por exemplo, o fundo e o topo da bomba, para a determinação de uma queda na pressão. Por exemplo, uma diminuição de aproximadamente 50% de uma pressão normal, por exemplo, uma pressão média, por um período de aproximadamente 30

segundos, pode indicar um bloqueio de gás.

[0040] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um medidor de pressão localizado em um estágio de bomba localizado em direção à entrada 35, por exemplo, os estágios de fundo da bomba, para a determinação de uma queda na pressão. Por exemplo, uma diminuição de aproximadamente 30% de uma pressão histórica, por exemplo, uma pressão de pico dos últimos três (3) minutos, por um período de aproximadamente 30 segundos, pode indicar um bloqueio de gás.

[0041] Em ainda uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um sensor de temperatura de fluido localizado em direção à descarga 36, por exemplo, o topo da bomba, para a determinação de um aumento na temperatura. Por exemplo, um aumento de aproximadamente 20% de uma temperatura histórica, por exemplo, uma média flutuante dos valores pelos últimos cinco (5) minutos, por um período de aproximadamente 30 segundos, pode indicar um bloqueio de gás.

[0042] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um detector de gás livre localizado na bomba para a determinação de um nível alto de gás livre de uma função de volume. Por exemplo, um nível de gás livre acima de aproximadamente 50% em volume por um período de aproximadamente 30 segundos pode indicar um bloqueio de gás.

[0043] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser medidor de resistividade elétrica localizado na bomba para a determinação de um nível alto de resistividade. Por exemplo, um nível alto de resistividade

de aproximadamente 200 Ohms por cm ou mais por um período de aproximadamente 30 segundos pode indicar um bloqueio de gás.

[0044] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um medidor de fluxo localizado na tubulação de produção de superfície para a determinação de pouco ou nenhum fluxo. Por exemplo, um fluxo de aproximadamente zero por um período de aproximadamente 30 segundos pode indicar um bloqueio de gás.

[0045] Em uma outra modalidade de exemplo, o sensor 24a a 24n pode ser um sensor de vibração afixado a uma coluna de tubulação para a medição de uma aceleração do fluido na coluna de tubulação para a determinação de uma assinatura de vibração, ou um padrão característico de vibração, em resposta à aceleração medida do fluido. A assinatura de vibração pode se referir ao sinal real de um sensor de vibração e, também, ao espectro ou a uma representação baseada em frequência. A assinatura de vibração determinada pode ser comparada, então, com uma ou mais assinaturas de vibração predeterminadas armazenadas na memória e associadas a um bloqueio de gás para se indicar, desse modo, um bloqueio de gás. As assinaturas de vibração predeterminadas podem ser determinadas por testes, conforme entendido por aqueles versados na técnica. Conforme entendido por aqueles versados na técnica, um sensor de vibração pode incluir um sensor de vibração XY, o qual é um sensor que mede a vibração ou a aceleração em duas dimensões, ou ao longo de dois eixos geométricos. Conforme descrito no Pedido de Patente U.S. pendente possuído conjuntamente N° de Série 12/360.677, intitulado

"Electrical Submersible Pump Rotation Sensing Using an XY Vibration Sensor", depositado em 27 de janeiro de 2009, o qual é incorporado aqui em sua totalidade, as medições para as duas dimensões podendo ser correlacionadas através de uma análise de Fourier, ou outra análise de frequência, conforme entendido por aqueles versados na técnica, para a determinação de uma frequência e direção de rotação de uma ESP.

[0046] As modalidades de exemplo podem incluir durações diferentes para a determinação do bloqueio de gás. Conforme entendido por aqueles versados na técnica, uma duração muito curta pode resultar em falsos positivos; de modo similar, uma duração muito longa pode resultar em uma detecção retardada, talvez resultando em danos ao motor. As modalidades de exemplo podem incluir uma duração predeterminada para a comparação com um período entre aproximadamente 15 segundos e aproximadamente 1 minuto.

[0047] As modalidades da presente invenção têm vantagens significativas. As modalidades de exemplo têm a capacidade de detectar de forma confiável um bloqueio de gás, sem uma intervenção de operador, com base nos dados de superfície e/ou nos dados de poço abaixo. Também, as modalidades de exemplo têm a capacidade de romper um bloqueio de gás uma vez detectada, sem requerer que o sistema seja parado.

[0048] As modalidades de um dispositivo de monitoração e de controle de dados 12, por exemplo, um controlador, podem assumir várias formas. Em uma modalidade, o dispositivo de controle 12 pode ser parte do hardware localizado no local do poço, incluído no software

de um controlador de ESP programável, acionamento de velocidade variável ou pode ser uma caixa em separado com sua própria CPU e uma memória acoplada a esses componentes. Também, o dispositivo de controle 12 pode mesmo estar localizado através de uma rede e incluir um código de software rodando em um servidor o qual se comunica de forma bidirecional com o sistema de produção 10 para receber leituras de superfície e/ou de poço abaixo e transmitir sinais de controle de modo conforme.

[0049] Conforme ilustrado na Figura 5, as modalidades de exemplo incluem um controlador 12, que tem, por exemplo, dispositivos de I/O de entrada - saída, por exemplo, uma interface de entrada/saída 61; um ou mais processadores 62; uma memória 63, tais como meios que podem ser lidos em computador tangíveis; e, opcionalmente, um visor 65. A memória 63 do controlador pode incluir um produto de programa 64, conforme descrito aqui.

[0050] Conforme ilustrado nas Figuras 5 e 6, as modalidades da presente invenção incluem uma memória 63 que tem armazenado um produto de programa, armazenado em uma mídia de memória de computador tangível, operável no processador 62, o produto de programa compreendendo um conjunto de turbinas 70 que, quando executadas pelo processador 62, fazem com que o processador 62 detecte uma ocorrência de bloqueio de gás pela realização de várias operações. As operações incluem: a monitoração de um valor instantâneo que utiliza o sensor 71 e a comparação do valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada para se detectar desse modo a ocorrência de bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica

72. As operações ainda incluem a ruptura da ocorrência detectada de bloqueio de gás pelas subetapas de: (a) manutenção de uma velocidade de operação de bomba por um primeiro período predeterminado que define um período de espera para facilitar uma separação de gás e líquido localizados acima da bomba, (b) redução da velocidade de operação de bomba para um valor predeterminado que define um valor de lavagem por um segundo período predeterminado que define um período de lavagem, de modo que o fluido localizado acima da bomba caia de volta através da bomba lavando qualquer gás aprisionado, e (c) restauração da velocidade de operação de bomba para a velocidade de operação de bomba mantida previamente 73.

[0051] As modalidades de exemplo também incluem um produto de programa de computador armazenado em um meio que pode ser lido em computador tangível que pode ser lido por um computador, o produto de programa de computador compreendendo um conjunto de instruções que, quando executadas por um computador, faz com que o computador realize as várias operações. As operações podem incluir a detecção de uma ocorrência de bloqueio de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica, incluindo: (i) a monitoração de um valor instantâneo associado ao motor de bomba do conjunto de bomba submersível elétrica, (ii) a geração de um valor de limite com base em dados históricos de valores associados ao motor de bomba do conjunto de bomba submersível elétrica, e (iii) a comparação do valor instantâneo com o valor de limite para se detectar desse modo a ocorrência de um bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica. As operações ainda podem

incluir a ruptura da ocorrência detectada de bloqueio de gás, incluindo (i) a manutenção de uma velocidade de operação de bomba por uma primeira duração predeterminada que define um período de espera para facilitação de uma separação de gás e líquido localizados acima da bomba, (ii) a redução da velocidade de operação de bomba para um valor predeterminado que define um valor de lavagem por uma segunda duração predeterminada que define um período de lavagem, de modo que o fluido localizado acima da bomba caia de volta através da bomba lavando qualquer gás aprisionado, e (iii) a restauração da velocidade de operação de bomba para a velocidade de operação de bomba mantida previamente.

[0052] É importante notar que, embora as modalidades da presente invenção tenham sido descritas no contexto de um sistema plenamente funcional e um método que concretiza a invenção, aqueles versados na técnica apreciarão que o mecanismo da presente invenção e/ou os aspectos do mesmo são capazes de serem distribuídos na forma de um meio que pode ser lido em computador de instruções em uma variedade de formas para execução em um processador, em processadores ou similares, e que a presente invenção se aplica igualmente, independentemente do tipo em particular de mídia portando sinal usada para se realizar realmente a distribuição. Os exemplos de meios que podem ser lidos em computador incluem, mas não estão limitados a: meios não voláteis do tipo de código rígido, tais como memórias apenas de leitura (ROMs), CD-ROMs, e DVD-ROMs, ou memórias apenas de leitura eletricamente programáveis apagáveis (EEPROMs), meios do tipo gravável,

tais como discos flexíveis, unidades de disco rígido, CD-R/RWs, DVD-RAMs, DVD-R/RWs, DVD+R/RWs, unidades flash, e outros tipos mais novos de memórias, e meios do tipo de transmissão, tais como enlaces de comunicação digitais e analógicos. Por exemplo, esses meios podem incluir instruções de operação e/ou instruções relacionadas ao sistema e etapas de método descritas acima.

[0053] Mais ainda, é para ser entendido que a invenção não está limitada aos detalhes exatos de construção, operação, materiais exatos ou modalidades mostradas e descritas, já que modificações e equivalentes serão evidentes para alguém versado na técnica. Por exemplo, embora a presente invenção tenha se focalizado em medições de torque de motor e/ou corrente, outras medições também poderiam ser usadas para indicação de um estado de bloqueio de gás. Nos desenhos e no relatório descritivo, houve modalidades ilustrativas mostradas da invenção e, embora termos específicos sejam empregados, eles são usados em um sentido genérico e descritivo apenas e não para fins de limitação. Assim sendo, a invenção é para ser limitada, portanto, apenas pelo escopo das reivindicações em apenso.

## REIVINDICAÇÕES

1. Método implementado em computador de detecção de uma ocorrência de bloqueio de gás em um conjunto de bomba submersível elétrica de estágio múltiplo para o bombeamento de fluido em um furo de poço (28),

o poço (28) se estendendo para baixo a partir de uma superfície (38), o conjunto incluindo uma bomba submersível elétrica de estágio múltiplo (22) tendo uma entrada (35) e uma descarga (36), um motor de bomba (20) para acionamento da bomba (22), e uma linha de descarga (34) para o transporte do fluido bombeado a partir da descarga de bomba (36) para a superfície (8), o método **caracterizado** por compreender:

a monitoração através de um sensor (24a-24n) de um valor instantâneo de uma propriedade de um fluido associado a um conjunto de bomba submersível elétrica; e

a comparação do valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada por um controlador (12) configurado para receber dados a partir do sensor (24a-24n) e para a detecção da ocorrência de bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica;

em que o sensor (24a-24n) inclui um ou mais dos seguintes: um medidor de pressão diferencial para medir uma pressão diferencial do fluido entre a entrada da bomba (35) e a descarga da bomba (36), um medidor de pressão localizado em uma estágio de bomba localizado em direção à entrada (35) para medir uma pressão, um sensor de temperatura de fluido localizado em direção à descarga (36), um detector de gás livre localizado em um estágio de bomba próximo à descarga da bomba (36), um medidor de

resistividade elétrica localizado dentro da bomba (22), um medidor de fluxo localizado dentro da tubulação de produção de superfície e um sensor de vibração ligado a uma coluna de tubulação para medir uma aceleração do fluido dentro da coluna de tubulação para determinar um sinal de vibração em resposta à aceleração medida do fluido.

2. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por o sensor (24a-24n) compreender um medidor de pressão diferencial, em que a etapa de monitoração através de um sensor (24a-24n) compreende a medição de uma pressão diferencial do fluido na bomba (22) entre a entrada de bomba (35) e a descarga de bomba (36), e em que a etapa de comparação do valor instantâneo com um valor de limite compreende a geração do valor de limite pelo controlador em resposta aos dados históricos de valores associados ao sensor (24a-24n).

3. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 2, **caracterizado** pelo fato da etapa de comparação do valor instantâneo com um valor de limite compreender a geração do valor de limite com base em uma diminuição de 50% de uma média dos valores instantâneos a partir de uma faixa predeterminada dos dados históricos, e pelo fato da duração predeterminada ser um período de 30 segundos.

4. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) compreender um medidor de pressão, e da etapa de monitoração compreender a medição de uma pressão do fluido localizado em um estágio de bomba localizado em direção à entrada (35), e da etapa de comparação do valor instantâneo

com um valor de limite compreender a geração do valor de limite com o controlador (12) em resposta aos dados históricos de valores associados ao sensor (24a-24n).

5. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato da etapa de comparação do valor instantâneo com um valor de limite compreender a geração do valor de limite com base em uma diminuição de 30% de um pico dos valores por um período de 3 minutos, e em que a duração predeterminada é um período de 30 segundos.

6. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) compreender um sensor de temperatura de fluido, em que a etapa de monitoração compreende a medição de uma temperatura do fluido localizada em um estágio de bomba localizado em direção à descarga (36), e em que a etapa de comparação do valor instantâneo com um valor de limite compreende a geração do valor de limite com um controlador (12) em resposta a dados históricos de valores associados ao sensor (24a-24n).

7. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 6, **caracterizado** pelo fato da etapa de comparação do valor instantâneo com um valor de limite compreender a geração do valor de limite com base em um aumento de 20% de uma média dos valores por um período de 5 minutos, e em que a duração predeterminada é um período de 30 segundos.

8. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) incluir um detector de gás livre localizado no

interior bomba (22).

9. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato do valor de limite ser um nível de gás livre de 50% em volume, e em que a duração predeterminada é um período de 30 segundos.

10. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) incluir um medidor de resistividade elétrica localizado na bomba (22).

11. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) incluir um medidor de fluxo localizado na tubulação de produção de superfície.

12. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 11, **caracterizado** pelo fato do valor de limite ser um fluxo de zero, e em que a duração predeterminada é um período de 30 segundos.

13. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato do sensor (24a-24n) incluir um sensor de vibração (34) afixado a uma coluna de tubulação para a medição de uma aceleração do fluido na coluna de tubulação; em que a comparação do valor instantâneo com um valor de limite por uma duração predeterminada compreende a determinação de uma assinatura de vibração em resposta à aceleração medida do fluido; e em que o valor de limite é uma ou mais assinaturas de vibração predeterminadas armazenadas na memória e associadas à bloqueio de gás.

14. Método implementado em computador, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** por compreender ainda: a

ruptura da ocorrência detectada de bloqueio de gás pelas subetapas de:

(a) manutenção de uma velocidade de operação de bomba por um primeiro período predeterminado que define um período de espera para facilitar uma separação de gás e líquido localizados acima da bomba (22);

(b) redução da velocidade de operação de bomba para um valor predeterminado que define um valor de lavagem por um segundo período predeterminado que define um período de lavagem, de modo que o fluido localizado acima da bomba caia de volta através da bomba (22) lavando qualquer gás aprisionado; e

(c) restauração da velocidade de operação de bomba para a velocidade de operação de bomba mantida previamente.

15. Conjunto de bomba submersível **caracterizado** por compreender:

uma bomba submersível elétrica de estágio múltiplo (22) localizada em um furo de poço (28) para o bombeamento de um fluido, a bomba tendo uma entrada (35) e uma descarga (36);

um motor de bomba (20) localizado no furo de poço (28), para acionamento da bomba submersível elétrica (22);

uma linha de descarga (34) para transporte do fluido bombeado a partir da descarga de bomba (36) para a superfície (38);

um sensor (24a-24n) para a medição de uma propriedade de um fluido associado à bomba (22);

em que o sensor (24a-24n) inclui um ou mais dos seguintes: um medidor de pressão diferencial para medir uma pressão diferencial do fluido entre a entrada da bomba (35)

e a descarga da bomba (36), um medidor de pressão localizado em uma estágio de bomba localizado em direção à entrada (35) para medir uma pressão, um sensor de temperatura de fluido localizado em direção à descarga (36), um detector de gás livre localizado em um estágio de bomba próximo à descarga da bomba (36), um medidor de resistividade elétrica localizado dentro da bomba (22), um medidor de fluxo localizado dentro da tubulação de produção de superfície e um sensor de vibração ligado a uma coluna de tubulação para medir uma aceleração do fluido dentro da coluna de tubulação para determinar um sinal de vibração em resposta à aceleração medida do fluido.

um controlador (12) configurado para receber dados do sensor (24a-24n) e para detectar uma ocorrência de bloqueio de gás na bomba submersível elétrica de estágio múltiplo (22), o controlador compreendendo:

um processador (62) posicionado para a detecção de uma ocorrência de bloqueio de gás,

uma interface de entrada/saída (61) para comunicação com o sensor (24a-24n), e

uma memória (63) que tem armazenado um produto de programa (64), armazenado em uma mídia de memória de computador tangível, operável no processador (62), o produto de programa (64) compreendendo um conjunto de instruções que, quando executado pelo processador (62), faz com que o processador detecte uma ocorrência de bloqueio de gás pela realização das operações de:

monitoração de um valor instantâneo utilizando o sensor (24a-24n); e

comparação do valor instantâneo com um valor de limite

por uma duração predeterminada para com isso detectar a ocorrência de bloqueio de gás no conjunto de bomba submersível elétrica.

16. Conjunto de bomba submersível, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato do valor de limite ser gerado pelo controlador (12) em resposta a dados históricos de valores associados ao sensor (24a-24n).

17. Conjunto de bomba submersível, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato das operações ainda incluírem: a ruptura da ocorrência detectada de bloqueio de gás pelas subetapas de:

(a) manutenção de uma velocidade de operação de bomba por um primeiro período predeterminado que define um período de espera para facilitar uma separação de gás e líquido localizados acima da bomba (22),

(b) redução da velocidade de operação de bomba para um valor predeterminado que define um valor de lavagem por um segundo período predeterminado que define um período de lavagem, de modo que o fluido localizado acima da bomba (22) caia de volta através da bomba lavando qualquer gás aprisionado, e

(c) restauração da velocidade de operação de bomba para a velocidade de operação de bomba mantida previamente.

18. Conjunto de bomba submersível, de acordo com a reivindicação 15, **caracterizado** pelo fato da duração predeterminada ser um período entre 15 segundos e 1 minuto.

104-48189

1 / 5

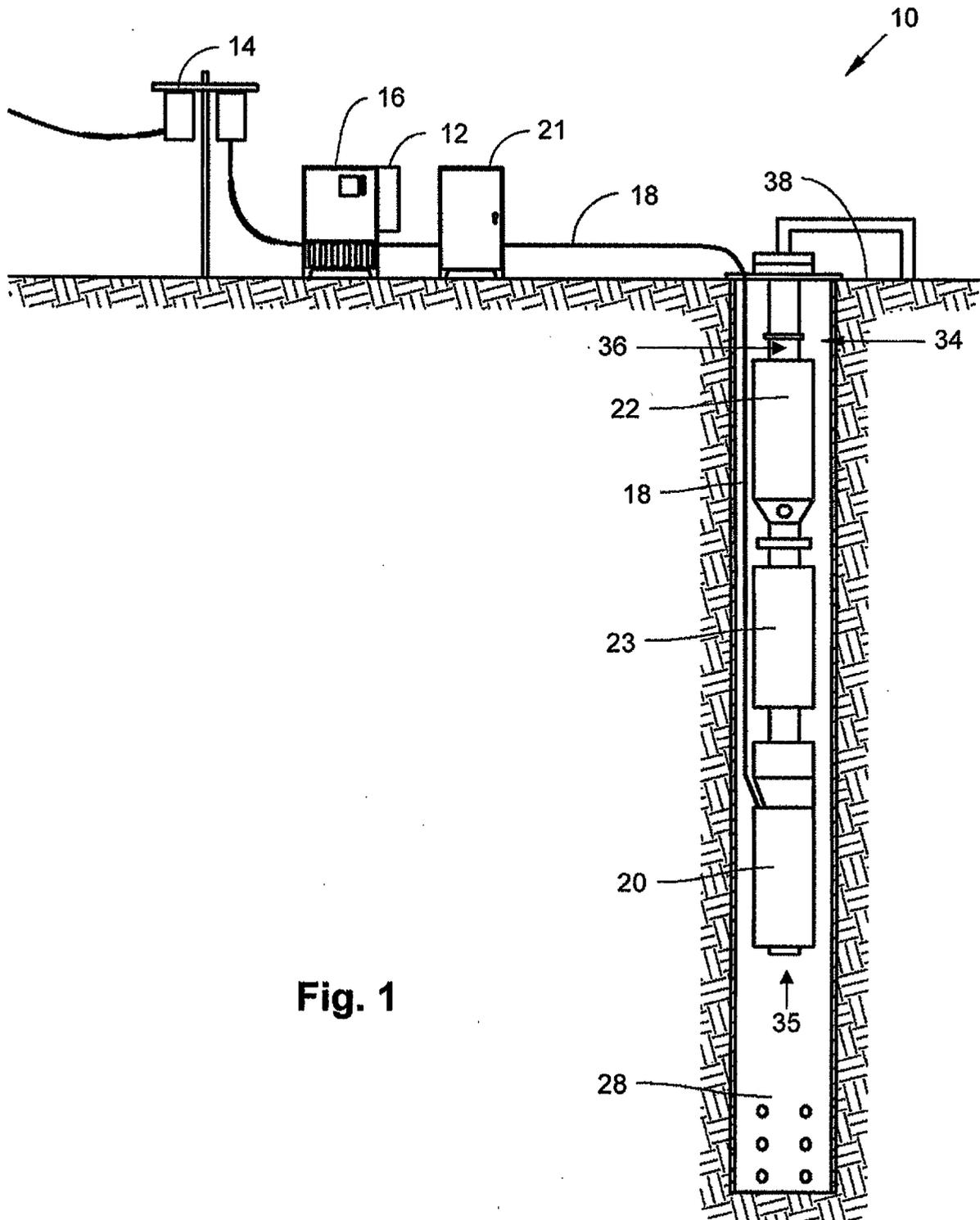


Fig. 1

104-48189

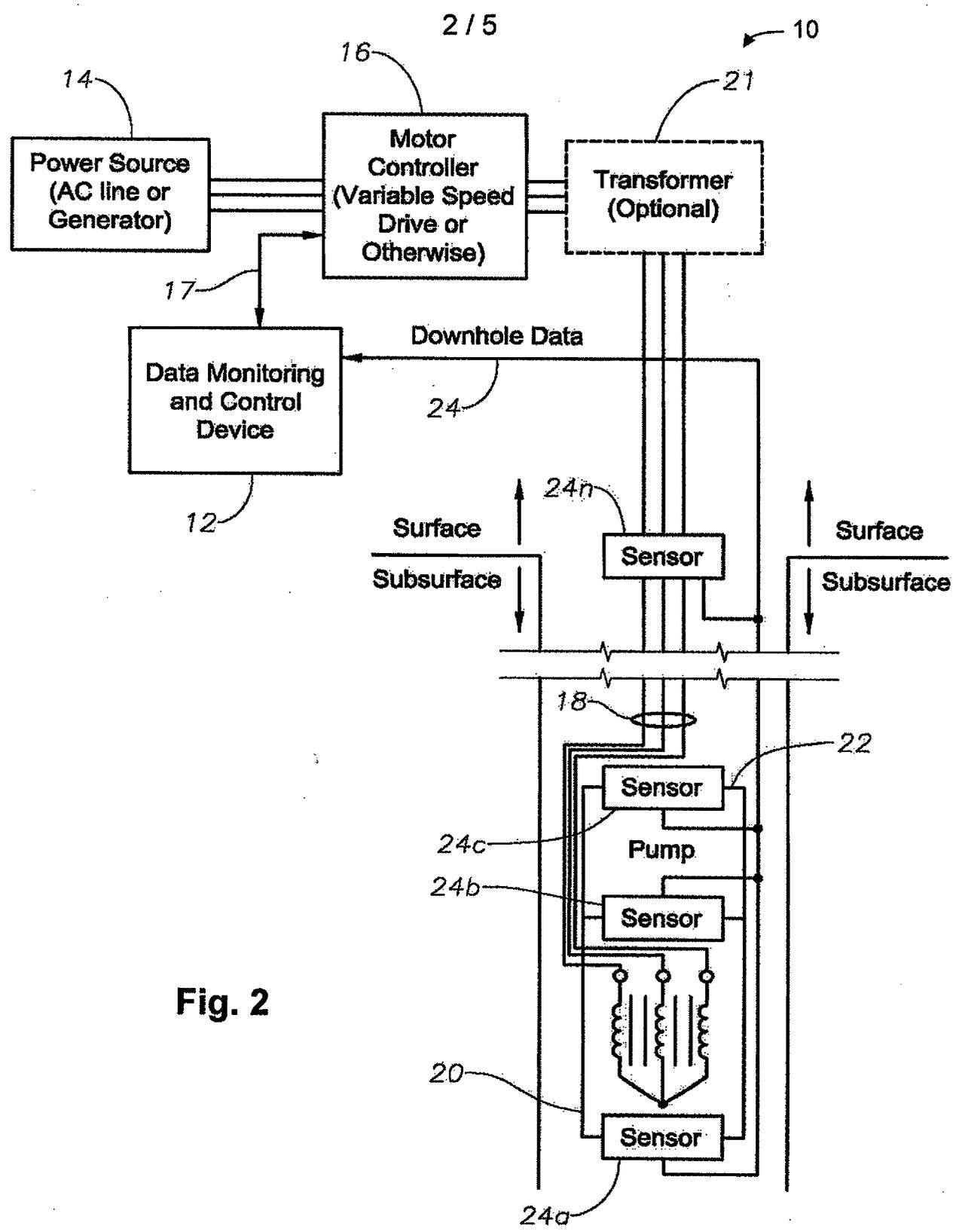


Fig. 2

104-48189

3 / 5

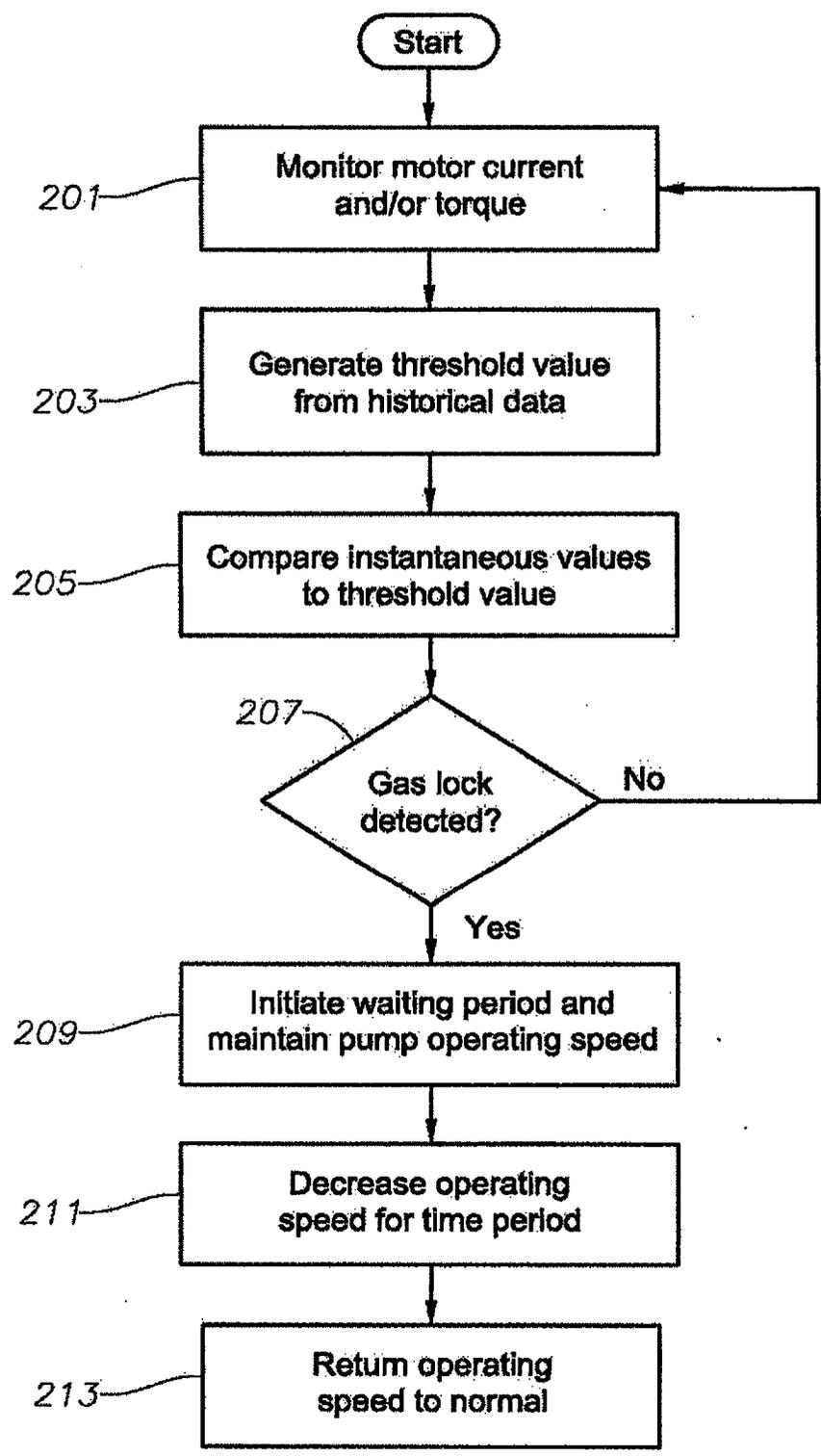


Fig. 3

104-48189

4 / 5

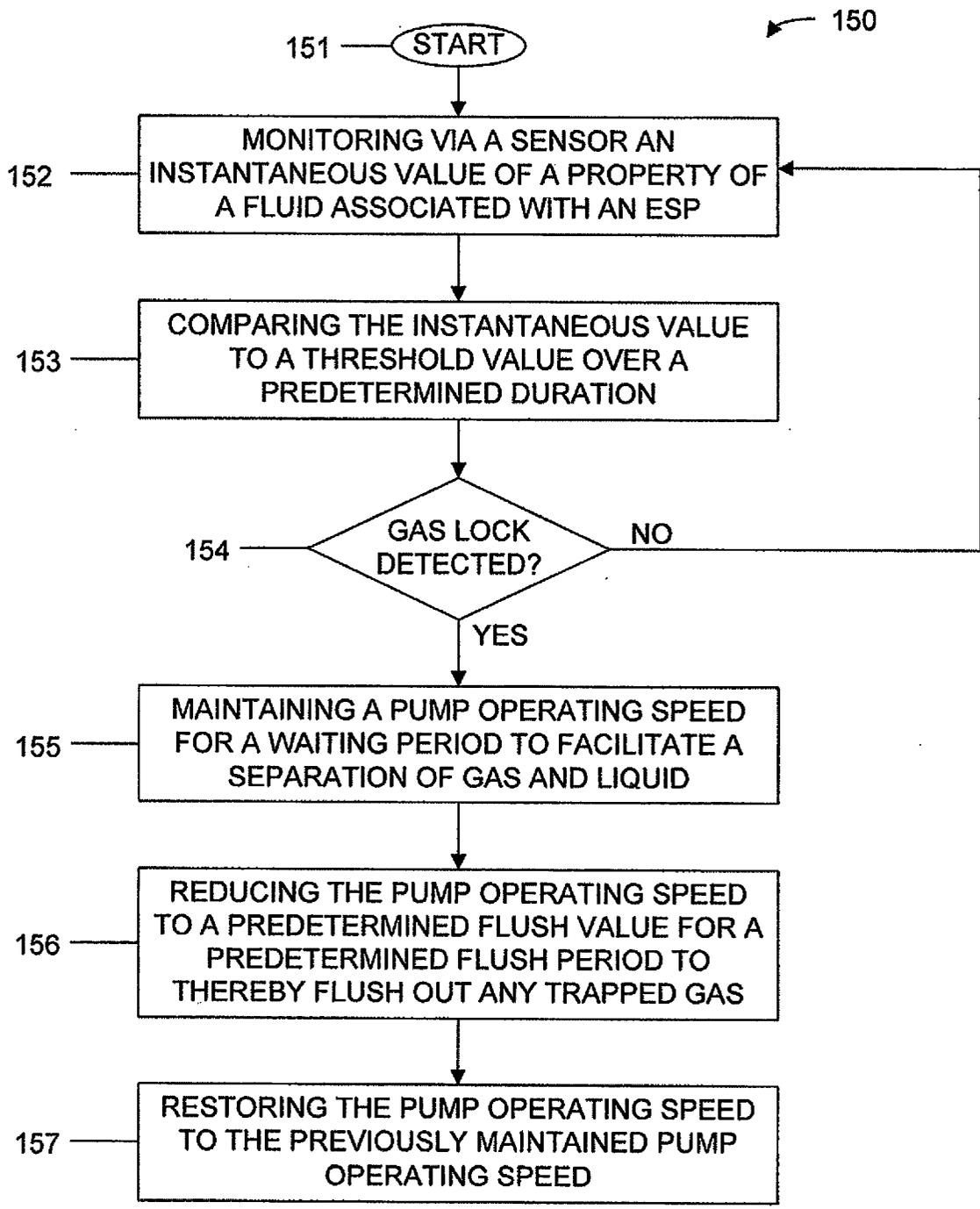
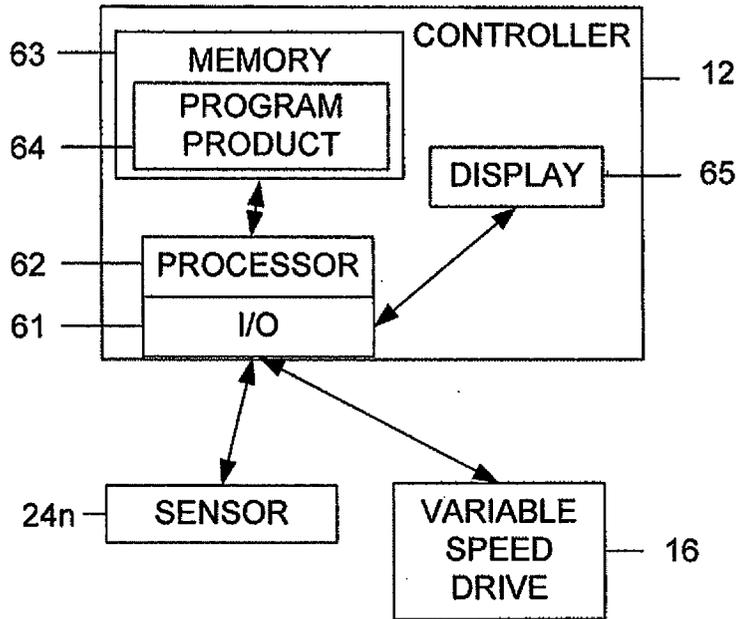


Fig. 4

104-48189

**Fig. 5**

5 / 5



**Fig. 6**

