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

(11) BR 112016020813-7 B1

(22) Data do Depósito: 06/05/2015

(45) Data de Concessão: 10/05/2022

(54) Título: MÉTODO PARA REGULAR PRESSÃO DE FUNDO DE POÇO, SISTEMA DE PERFURAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE PRESSÃO GERENCIADA, E, MEIO NÃO-TRANSITÓRIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR

(51) Int.Cl.: E21B 44/00; E21B 21/08; E21B 43/12.

(30) Prioridade Unionista: 27/05/2014 US 62/003228.

(73) Titular(es): HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC..

(72) Inventor(es): ROBELLO SAMUEL; JAMES RANDOLPH LOVORN.

(86) Pedido PCT: PCT US2015029431 de 06/05/2015

(87) Publicação PCT: WO 2015/183492 de 03/12/2015

(85) Data do Início da Fase Nacional: 09/09/2016

(57) Resumo: MÉTODO PARA REGULAR PRESSÃO DE FUNDO DE POÇO, SISTEMA DE PERFURAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE PRESSÃO GERENCIADA, E, PRODUTO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR. Um método para regular pressão de fundo de poço usando perfuração de pressão gerenciada pode incluir calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD) e calcular uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD. As pressões de surgência e pistoneio podem ser baseadas em movimento da coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração. O método pode incluir ainda determinar uma pressão de ponto de ajuste usando um modelo hidráulico em tempo real e o modelo de torque e arrasto, e operar um sistema de estrangulamento MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular a pressão de fundo de poço predeterminada em um local predeterminado num furo de poço.

“MÉTODO PARA REGULAR PRESSÃO DE FUNDO DE POÇO, SISTEMA DE PERFURAÇÃO PARA PERFURAÇÃO DE PRESSÃO GERENCIADA, E, MEIO NÃO-TRANSITÓRIO LEGÍVEL POR COMPUTADOR”

FUNDAMENTOS

[001] Durante milhões de anos, as formações de terra subterrâneas, tal como reservatórios de hidrocarbonetos, sofrem mudanças geológicas que resultam em variações de pressão e resistência de rocha inesperadas. Reservatórios de hidrocarbonetos complexos, de águas profundas e não convencionais exibem frequentemente mecânica de furo de poço que impede a utilização de técnicas de perfuração convencionais. Perfuração de pressão gerenciada (MPD) foi desenvolvida como um grupo de tecnologias para controlar mais precisamente o perfil de pressão anular em todos os furos de poços criando apenas uma pressão anular desequilibrada a maior mínima.

[002] Geralmente, a pressão de poro da formação e a pressão de fratura aumentam com a profundidade vertical verdadeira (TVD) de um poço. Em MPD, para cada intervalo de perfuração, fluido de perfuração (isto é, "lama") pode ser utilizado que exibe uma pressão que é maior que a pressão de poro (P_{pore}), mas menor que a pressão de fratura (P_{frac}), de modo que uma pressão de fluido de perfuração no anular se situe entre a pressão de poro e a pressão de fratura. A diferença, também chamada de janela, entre P_{pore} e P_{frac} de fundo de poço é suficiente, de modo que a densidade de circulação equivalente (ECD) do fluido de perfuração permaneça dentro da janela de densidade admissível. MPD permite aos operadores manterem a ECD dentro da janela de pressão estreita P_{pore}/ P_{frac} embora mantendo ainda pressões favoráveis à estabilidade do furo de poço.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[003] As figuras seguintes são incluídas para ilustrar certos aspectos da presente divulgação e não devem ser vistas como modalidades exclusivas.

O assunto divulgado é capaz de consideráveis modificações, alterações, combinações e equivalentes na forma e função, sem nos afastarmos do escopo desta divulgação.

[004] A FIG. 1 ilustra um sistema para controlar pressão de furo de poço.

[005] As FIGS. 2A a 2G ilustram diferentes combinações de arfagem de onda do mar e velocidades de coluna de perfuração.

[006] A FIG. 3 é um fluxograma de um método exemplar para regular pressão de furo de poço.

DESCRIÇÃO DETALHADA

[007] A presente divulgação se refere geralmente a sistemas e métodos para controlar pressão de fundo de poço usando técnicas de perfuração de pressão gerenciada (MPD) e, mais particularmente, para manipular contrapressão no anular, embora levando em conta fatores que afetam a ECD, tal como densidade de fluido, reologia de fluido, elasticidade da coluna de perfuração, velocidade de fluido no anular, atrito de circulação e/ou geometria de furo.

[008] Modalidades da presente divulgação descrevem sistemas e métodos para melhorar a precisão de controle de pressão de fundo de poço, embora levando em conta o movimento para cima e para baixo (*isto é*, pistoneio e surgência, respectivamente) da coluna de perfuração devido ao movimento das ondas do mar, da embarcação ou da sonda e à elasticidade da coluna de perfuração. Para aplicações de perfuração em águas profundas, a precisão do controle da pressão no fundo do poço pode ser melhorada incorporando um modelo de torque e arrasto que calcula a elasticidade da coluna de perfuração. O modelo de torque e arrasto é incluído no sistema de controle MPD que também inclui um ou mais modelos hidráulicos. O sistema de controle de pressão anular dinâmica resultante pode calcular em tempo real a contrapressão, ou ponto de ajuste, necessária para manter uma pressão de

fundo de poço desejada. O modelo impõe esta contrapressão no anular ajustando continuamente um aparelho de controle de fluxo (por exemplo, um estrangulamento controlado hidraulicamente) com base em aquisição de dados em tempo real de condições de furo reais, temperatura, pressão e dados de ferramentas de fundo de poço para calcular fatores de atrito em um furo de poço.

[009] Como será apreciado, o controle da pressão de fundo de poço pode ser benéfico em perfuração de pressão gerenciada e desequilibrada a menor e em outros tipos de operações de poço. De preferência, a pressão de fundo de poço é controlada com precisão para evitar perda excessiva de fluido para uma formação de terra circundando o furo de poço, fraturamento indesejado da formação, influxo indesejado de fluidos de formação para o furo de poço, etc. Nitrogênio ou outro gás, ou outro fluido de peso mais leve, podem ser adicionados ao fluido de perfuração para controle de pressão. Esta técnica é especialmente útil, por exemplo, em operações de perfuração desequilibradas a menor.

[0010] Operações MPD frequentemente usam um dispositivo de controle rotativo (RCD) instalado na parte superior de um conjunto de preventor (BOP) na cabeça de poço para criar um sistema fechado e um coletor de estrangulamento de perfuração e bomba de contrapressão para controlar a pressão de fundo de poço. Contrapressão pode ser aplicada ao anular restringindo variavelmente o fluxo do fluido de perfuração através do(s) estrangulador(es) de perfuração. Como resultado, uma BHP constante pode ser mantida durante operações de perfuração, enquanto as bombas de lama estão ligadas e enquanto as bombas estão desligadas para fazer conexões.

[0011] A FIG. 1 ilustra um sistema exemplar 100 para controlar a pressão de um furo de poço em pelo menos uma porção do anular 115 de um poço 105. Como ilustrado, uma coluna de perfuração 110 se estende para um

furo de poço 130 do poço 105 sendo perfurado através de pelo menos uma formação subterrânea A. A coluna de perfuração 110 pode compreender seções de perfuração articuladas, tubulação espiralada, seções de tubo com fios ou qualquer combinação dos mesmos. O furo de poço 130 pode ser perfurado em qualquer direção, por exemplo, vertical, inclinada, horizontal e combinações dos mesmos. Uma broca de perfuração 120 pode ser acoplada à coluna de perfuração 110 numa extremidade da mesma. Uma composição de fundo (BHA) 125 pode estar contida ou de outro modo incluída na coluna de perfuração 110. A BHA 125 pode compreender ferramenta de medição durante a perfuração (MWD) e/ou ferramenta de medição durante a perfuração (LWD), um motor de lama, um alargador de furo, um ou mais estabilizadores, um conjunto de perfuração orientável e outras ferramentas adequadas conhecidas na arte para perfurar um poço. Um fluido de perfuração 102 é bombeado através da linha de entrada 153 e para a coluna de perfuração 110 por uma ou mais bombas 152. O fluido de perfuração 102 viaja pelo interior da coluna de perfuração 102 e sai através da broca de perfuração 120 para o anular 115 definido entre a coluna de perfuração 110 e uma parede 131 do furo de poço 130. Quando o fluido de perfuração 102 transita para cima do anular 115, ele capta fragmentos e cascalhos de perfuração da perfuração da formação A e as propriedades do fluido de perfuração 102 podem ser modificadas adicionando materiais adicionais.

[0012] Um dispositivo de controle de pressão rotativo (RCD) 136 pode permitir contenção de pressão no furo de poço 130 fechando o anular 115 entre o furo de poço 130 e a coluna de perfuração 110, embora ainda permitindo à coluna de perfuração 110 avançar para o furo de poço e girar. O RCD 136 pode ser posicionado acima do conjunto de preventores (BOP's) 135 na superfície. O fluido de perfuração 102 pode ser circulado para fora do furo de poço 130 e sair entre os BOP's 135 e o RCD 136.

[0013] O fluido de perfuração 102 pode fluir através da linha de

retorno 154 para um aparelho de controle de fluxo 180 (também aqui denominado como um estrangulamento ajustável) depois de sair do furo de poço 130. Num exemplo, o aparelho de controle de fluxo 180 pode compreender uma ou mais válvulas de estrangulamento ajustáveis. Um fluxo do fluido de perfuração 102 através do estrangulador ajustável 180 pode ser ajustado de modo controlado pelo atuador 175 para variar a contrapressão no anular 115. Por exemplo, um diferencial de pressão através do estrangulamento ajustável 180 pode ser ajustado para provocar uma mudança correspondente da pressão aplicada ao anular 115. Assim, uma pressão de fundo de poço num local predeterminado (*por exemplo*, a pressão no fundo do furo de poço 130, pressão numa sapata de revestimento de fundo de poço, pressão numa formação ou zona particular, etc.) pode ser regulada variando a contrapressão aplicada ao anular 115 na superfície. O(s) atuador(es) 175 pode(m) ser alimentado(s) eletricamente, hidraulicamente, pneumaticamente ou combinações dos mesmos. Numa localização a jusante do aparelho de controle de fluxo 180, o fluido de perfuração 102 pode retornar através de uma linha 158 para o poço de retorno 145 onde os fragmentos e cascalhos são removidos. O fluido de perfuração 102 pode, então, migrar de volta para o poço de sucção 150 para outra viagem através do sistema de fluxo de poço.

[0014] Em um exemplo, um modelo hidráulico e o modelo de torque e arrasto mencionados acima podem ser utilizados para determinar uma pressão de ponto de ajuste que pode ser aplicada no anular 115 na, ou perto da, superfície que resultará numa pressão de anular de fundo de poço numa localização predeterminada dentro de uma faixa de pressão predeterminada. Em um exemplo, a faixa de pressão predeterminada é menor que a pressão de fratura e não maior do que a pressão de poro da formação circundante A. Em perfuração desequilibrada a menor, por exemplo, a faixa de pressão predeterminada pode ser menor do que a pressão de poro da formação A na localização predeterminada. Um sistema de controle automatizado pode

operar o aparelho de controle de fluxo 180 para regular a pressão aplicada ao anular 115 na superfície a fim de obter a pressão de fundo de poço desejada.

[0015] Em uma modalidade, um sistema em tempo real pode extrair automaticamente e continuamente amostras de fluido do poço de sucção 150 e do poço de retorno 145 e inserir as amostras em um módulo de teste de propriedade de fluido em tempo real 155. O módulo de teste de propriedades de fluido 155 pode compreender, entre outras coisas, um sensor de medição de densidade 156 e um sensor de reologia 157. Numa modalidade, as amostras de fluido podem ser reguladas até uma temperatura e pressão predeterminadas antes de as propriedades do fluido serem medidas. Em outra modalidade, módulos de teste de propriedades de fluido em tempo real 155 podem ser usados para testar cada um do fluxo de entrada e do fluxo de retorno simultaneamente. As propriedades reológicas de interesse dos fluidos de entrada e de retorno podem incluir, mas não estão limitadas a, razão óleo/água, densidade, teor de cloretos, estabilidade elétrica, tensão de cisalhamento do fluido, resistência em gel, viscosidade plástica e ponto de escoamento.

[0016] Em outra modalidade, um ou mais sensores 113 podem estar localizados em intervalos predeterminados no furo de poço 130 (por exemplo, no anular 115). Os sensores 113 podem medir uma ou mais de uma pressão de fundo de poço, uma compressibilidade do fluido de perfuração 102, a elasticidade da coluna de perfuração 110, a velocidade (RPM) do coluna de perfuração 102 no furo de poço 130 e/ou a pressão de atrito devido a resistência ao fluxo do fluido de perfuração 102 através do furo de poço 130 ou o deslocamento da coluna de perfuração 110 através do furo de poço 130. Embora não ilustrados, um ou mais sensores 113 podem também estar localizados na superfície para medir a velocidade da coluna de perfuração 110 na ou acima da superfície. Os sensores 113 podem transmitir as medições para um sistema de manipulação de informação (IHS) 165 utilizando várias

formas de telemetria (acústica, pulso de pressão, eletromagnética, óptica, com fios, *etc*.). O IHS 165 pode utilizar as medições transmitidas para controlar a operação do estrangulamento ajustável 180.

[0017] Numa modalidade, as medições dos sensores 156, 157 e 113 podem ser transmitidas (por exemplo, de uma maneira sem fios ou com fios) para um sistema de controle em tempo real, também chamado um controlador 190. O controlador 190 pode compreender um módulo de aquisição de dados 170 para interfacear medições de sensor para o IHS 165. Num exemplo, as medições de sensores em tempo real dos sensores 156, 157 e 113 podem ser transmitidas para o sistema de manipulação de informação (IHS) 165 para uso no controle em tempo real do estrangulamento ajustável 180. O IHS 165 pode compreender memória de acesso aleatório (RAM) 168, um ou mais recursos de processamento, tal como uma unidade de processamento central (CPU) 167, hardware e/ou aplicativo de software de computador, memória somente de leitura (ROM) e/ou outros tipos de meio de armazenamento legível por computador não transitório, tal como dispositivos ópticos (por exemplo, CDs ou DVDs) e unidades de disco. Componentes adicionais do IHS 165 podem compreender uma ou mais portas de rede para comunicar com dispositivos externos, bem como vários dispositivos de entrada e saída (I/O) 160, por exemplo, um teclado, um mouse e um mostrador de vídeo. O IHS 165 pode também compreender um ou mais barramentos operáveis para transmitir comunicações entre os vários componentes de hardware. Além disso, o IHS 165 pode compreender circuitos de interface 169 adequados para comunicar e receber dados de sensores e/ou do módulo de aquisição de dados 170 na superfície e/ou no fundo do poço. Adicionalmente, o controlador 190 pode ter armazenado informações em uma base de dados 172 interfaceada com o IHS 165. Por exemplo, a base de dados 172 pode compreender dados relativos a outros sensores de sonda, geometria de poço, dados históricos de poço desviado e/ou outros parâmetros de fluido de perfuração usados nos modelos.

[0018] Numa modalidade, o IHS 165 pode ter instruções programadas incluindo um ou mais modelos de software hidráulico em tempo real 171 e um ou mais modelos de torque e arrasto em tempo 173 armazenados na memória 168 que, quando executados, podem transmitir instruções de controle para o módulo controlador 176 para autonomamente (por exemplo, sem o requisito para uma entrada de um operador) operar o atuador 175 para controlar a operação do estrangulamento ajustável 180 com base, pelo menos em parte, em fatores tais como a densidade medida em tempo real e propriedades reológicas do fluido de perfuração 102, a compressibilidade do fluido de perfuração 102, a elasticidade da coluna de perfuração 110 e/ou os movimentos dinâmicos de coluna de perfuração 110 e do fluido de perfuração 102 (*por exemplo*, durante a manobra da coluna de perfuração 110 no furo de poço 130). O modelo de torque e arrasto em tempo real 173 pode resolver o equilíbrio total de massa e o balanço de momento para tubo e fluxo de anular, considerando um ou mais dos fatores acima mencionados. Também são consideradas pressões de surgência relacionadas com o comprimento da coluna de fluido abaixo da coluna de perfuração em movimento 110, compressibilidade da formação A e/ou a elasticidade axial da coluna de perfuração em movimento 110. Os dados em tempo real podem ser medidos em um ou mais locais no furo de poço 130 e transmitidos de uma maneira sem fios ou com fios do furo de poço para o IHS 165 e podem ser utilizados pelo modelo hidráulico 171 e pelo modelo de torque e arrasto 173 quando determinando o ponto de ajuste da pressão da cabeça de poço (WHP).

[0019] Em um exemplo, o módulo controlador 176 pode ser um controlador lógico programável que aceita os valores de ponto de ajuste da pressão da cabeça de poço do IHS 165 e controla o estrangulamento ajustável 180 para manter essa pressão da cabeça de poço. Numa modalidade, a pressão da cabeça de poço pode ser mantida circulando fluido de perfuração na porção superior do furo de poço. Em outra modalidade, os valores de ponto de ajuste

da pressão da cabeça de poço podem ser transmitidos pelo IHS 165 imediatamente (por exemplo, antes de efetuar outras tarefas) após cálculo ou podem ser transmitidos depois de um retardo de tempo predefinido. Embora os elementos 170, 165 e 176 sejam representados separadamente na FIG. 1, os versados na técnica apreciarão que qualquer um, ou todos eles, poderiam ser combinados num único elemento designado como o controlador 190. Alternativamente, muitas das funções do IHS 165 podem estar contidas em uma versão independente do módulo de controlador 176.

[0020] Numa modalidade, o modelo hidráulico em tempo real 171 pode receber notificação do IHS 165 que estão disponíveis novos dados de entrada de densidade e reologia. Os novos dados podem ser importados para o modelo hidráulico em tempo real 171 e utilizados para calcular as pressões hidrostáticas do fluido com base, pelo menos em parte, em compressibilidade de fluido, reologia em tempo real e efeitos térmicos do furo de poço. Além disso, as entradas para o modelo hidráulico em tempo real 171 podem incluir um ou mais de dados de levantamento, comprimentos de revestimento/seção de furo, diâmetro externo de tubo (OD), diâmetro interno (ID) e perfis de temperatura. Tal modelo hidráulico, como descrito acima, pode levar em conta mudanças no fluido de perfuração 102, por exemplo, carregamento de fragmentos e cascalhos e compressibilidade de fluido, quando o fluido de perfuração 102 transita pelo sistema de fluxo 100 no furo de poço 130.

[0021] Notem que múltiplos volumes de fluido de perfuração 102, cada um com propriedades diferentes, podem estar transitando no sistema 100 a qualquer momento. O modelo hidráulico em tempo real 171 rastreia cada volume e utiliza a densidade e as propriedades reológicas associadas com esse volume de fluido para calcular as quedas de pressão associadas com cada volume de fluido à medida que ele progride através do sistema de fluxo fechado 100. As perdas de pressão do sistema 100 podem compreender perdas de pressão associadas com o equipamento de superfície, a coluna de

perfuração 110, a BHA 125, as ferramentas LWD/MWD 126, os alargadores de furo, a broca de perfuração 120 e o anular 115. A soma das perdas de pressão proporcionará uma pressão de tubo vertical calculada. A perda de pressão no anular será utilizada pelo sistema MPD 100 pela seguinte equação: Superfície / Pressão na Cabeça de Poço (WHP) = Pressão no Fundo de Poço Desejada (DDP) - Pressão Hidrostática - Atrito de Circulação de Fluido (ECD) - Pressões de Surgência / Pistoneio

[0022] O modelo de hidráulico em tempo real 171 pode calcular pressões de surgência / pistoneio para controlar as pressões de fundo de poço. Numa modalidade, as pressões de surgência / pistoneio podem ser calculadas com base, pelo menos em parte, numa forma de cálculos de surgência / pistoneio de Herschel-Bulkley. A manobra da coluna de perfuração 110 pode causar variações de pressão adicionais no furo de poço 130. O movimento da coluna de perfuração 110 quando puxando para fora do furo de poço 130 pode fazer a pressão do fluido de perfuração 102 no fundo do furo de poço 130 diminuir devido ao atrito entre o movimento da coluna de perfuração 110 e o fluido de perfuração 102. Isto é denominado como pressão de pistoneio (P_{swab}). Inversamente, o movimento da coluna de perfuração 110 passando para o furo de poço 130 pode fazer com que a pressão aumente. Isto é denominado como pressão de surgência (P_{surge}). Como será apreciado, as pressões P_{swab} e P_{surge} podem impactar o deslocamento de fluido de perfuração 102 causado pelo movimento da coluna de perfuração 110 (*por exemplo*, efeito de pistão) num furo de poço cheio de fluido 130.

[0023] O modelo de torque e arrasto 173 pode compensar variações de pressão devido ao movimento do tubo de perfuração calculando a elasticidade da coluna de perfuração 110. O movimento da coluna de perfuração 110 pode não ser homogêneo ou em um estado constante devido a fatores tais como a tortuosidade do furo de poço 130. Isto é devido à elasticidade da coluna de perfuração 110 e/ou às forças mecânicas e forças

devidas ao fluido de perfuração 102. Assim, a velocidade ou o movimento da coluna de perfuração 110 na extremidade de fundo do poço da mesma pode não ser igual à velocidade da coluna de perfuração 110 na superfície. Como resultado, porções da coluna de perfuração 110 podem acelerar e desacelerar a velocidades diferentes e também em tempos diferentes. Além disso, a coluna de perfuração 110 pode estar em tensão e compressão ao mesmo tempo.

[0024] O modelo de torque e arrasto 173 executa cálculos de pressão de furo de poço causada pelo movimento da coluna de perfuração 110 dentro do furo de poço 130 com base em uma análise de fluxo de fluido e movimento da coluna de perfuração 110. O modelo de torque e arrasto 173 resolve de preferência o equilíbrio total de massa e o equilíbrio de momento para a coluna de perfuração 110 e fluxo no anular 115, embora levando em consideração a compressibilidade do fluido de perfuração 102, a elasticidade da coluna de perfuração 110 e os movimentos dinâmicos da coluna de perfuração 110 e o fluido de perfuração 102. Também são consideradas pressões de surgência relativas ao comprimento da coluna de fluido abaixo da coluna de perfuração em movimento 110 e a compressibilidade da formação A sendo perfurada. Propriedades de fluido podem ser ajustadas para refletir os efeitos de pressão e temperatura nos fluidos de perfuração 102.

[0025] Os cálculos do modelo de torque e arrasto 173 são divididos em duas regiões: a região superior da superfície do poço 105 para a extremidade de fundo de poço da coluna de perfuração 110 e o intervalo da extremidade de fundo de poço da coluna de perfuração 110 para o fundo do furo de poço 130. Na região superior, a pressão experimentada pela coluna de perfuração 110 ao longo do comprimento axial da mesma pode ser acoplada a pressões de anular através da elasticidade radial da coluna de perfuração 110. A resposta dinâmica axial da coluna de perfuração 110 é dada pelo seguinte conjunto de equações:

$$Equação\ de\ Momento:\ \rho A\frac{\delta v}{\delta t} = \frac{\delta F}{\delta x}$$ Equação (1)

$$Equação\ de\ Elasticidade\ Linear: \frac{\delta F}{\delta T} = A\ x\ E\frac{\delta v}{\delta x}$$ Equação (2)

$$Módulo\ de\ Elasticidade\ Bruto: K = -\frac{\frac{dp}{dV}}{V} = \frac{\frac{dp}{d\rho}}{\rho}$$ Equação (3)

onde, v = velocidade na superfície da coluna de perfuração; ρ = densidade do fluido de perfuração; A = área de seção transversal da coluna de perfuração; E = módulo de Young da coluna de perfuração; x = comprimento do furo de poço; F = força de atrito axial exercida na coluna de perfuração no furo de poço; e t = tempo (no qual a coluna de perfuração começa a se mover).

[0026] A expansão da coluna de perfuração é considerada como:

$$\frac{1}{A}\frac{\delta A}{\delta P} = \frac{2}{E}\left|\frac{r_2^2 + r_1^2 + \mu(r_2^2 + r_1^2)}{r_2^2 - r_1^2}\right|$$ Equação (4)

onde, A = área de seção transversal da coluna de perfuração; r_2 = raio externo da coluna de perfuração; r_1 = raio interno da coluna de perfuração; e μ = viscosidade do fluido de perfuração.

[0027] Devido à elasticidade da coluna de perfuração 110 e à pressão experimentada pela coluna de perfuração 110 ao longo do comprimento axial da mesma, a coluna de perfuração 110 pode expandir e contrair no furo de poço 130. Devido à expansão e contração da coluna de perfuração 110 no furo de poço 130, a área de seção transversal da coluna de perfuração 110 e a área de seção transversal do anular 115 podem variar. Consequentemente, isto pode resultar numa mudança na pressão do fluido de perfuração, o que pode ainda resultar numa mudança no comprimento da coluna de perfuração 110.

[0028] O modelo de torque e arrasto 173 também pode considerar o efeito do desvio do furo de poço e a excentricidade do tubo de perfuração. Em situações em que o revestimento é passado em um furo de poço com pequenas folgas anulares, o modelo de torque e arrasto 173 pode levar em conta o experimento de força de atrito pela coluna de perfuração 110 durante movimento. O movimento do fluido de perfuração e as perdas de pressão em

um anular excêntrico são diferentes daqueles em um anular concêntrico. A exclusão das forças de atrito do modelo de torque e arrasto 173 pode subestimar a força axial na coluna de perfuração 110, o que pode resultar em instruções de controle incorretas sendo transmitidas para o módulo de controlador 176.

[0029] Além disso, o modelo de torque e arrasto 173 pode levar em conta a elasticidade da coluna de perfuração 110 sob diferentes combinações de arfagem (devido às ondas do mar) e velocidades da coluna de perfuração, como ilustrado nas FIGS. 2A a 2G. As ondas senoidais representadas representam as velocidades da coluna de perfuração 110 e arfagem nas extremidades furo acima e furo abaixo da coluna de perfuração 110 e são puramente por uma questão de explicação. A FIG. 2A ilustra a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 (também denominada como um tubo nas FIGS. 2A a 2G) e a velocidade de fundo da coluna de perfuração 110 em fase entre si. Em outras palavras, quando a extremidade da coluna de perfuração 110 acima da superfície sobe, a extremidade da coluna de perfuração 110 no poço 105 também sobre e vice-versa. A FIG. 2B ilustra a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 e a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 como fora de fase entre si. Em outras palavras, a extremidade da coluna de perfuração 110 acima da superfície não segue a extremidade da coluna de perfuração 110 no poço 105.

[0030] A FIG. 2C ilustra a velocidade de arfagem (por exemplo, a velocidade das ondas do mar), a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 e a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 em fase entre si. Na FIG. 2D, a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 estão em fase entre si, enquanto a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 está fora de fase com ambas a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110. Na FIG. 2E, a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de

perfuração 110 estão fora de fase entre si e a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 está em fase com a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110. Na FIG. 2F, a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 estão fora de fase entre si e a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 está fora de fase com a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 e em fase com a velocidade de arfagem. Finalmente, na FIG. 2G, a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110 estão fora de fase entre si e a velocidade no fundo da coluna de perfuração 110 está fora de fase com ambas a velocidade de arfagem e a velocidade na superfície da coluna de perfuração 110.

[0031] Como pode ser visto, devido à elasticidade da coluna de perfuração 110, a extremidade da coluna de perfuração 110 no poço 105 nem sempre pode seguir (ou estar em sincronização com) a extremidade da coluna de perfuração 110 acima da superfície do poço. A elasticidade da coluna de perfuração 110 pode resultar em diferentes pressões P_{swab} e P_{surge} em diferentes locais no furo de poço 130. Por exemplo, embora a extremidade da coluna de perfuração 110 acima da superfície no poço 105 possa estar subindo (ou em pistoneio) a extremidade da coluna de perfuração 110 no poço 105 pode estar descendo (ou em surgência). Isto pode resultar em uma pressão P_{swab} na ou adjacente à superfície do poço 105 e uma pressão P_{surge} no ou adjacente ao fundo do poço 105. Adicionalmente, a coluna de perfuração 110 pode estar em pistoneio ou surgência em um ou mais locais entre a superfície e o fundo do furo de poço 130, resultando em diferentes pressões P_{swab} e P_{surge} nesses locais.

[0032] O modelo de torque e arrasto 173 pode ser capaz de predizer, com uma precisão relativamente alta e numa duração de tempo relativamente curta, a pressão de fundo de poço desejada exigida no local predeterminado para uma dada combinação de velocidades de arfagem e da coluna de

perfuração. O modelo de torque e arrasto 173 pode transmitir instruções de controle para o controlador 176 para ajustar a pressão na superfície para conseguir a pressão de fundo de poço desejada. O modelo de torque e arrasto 173 pode também ser capaz de predizer com precisão relativamente alta como a velocidade da coluna de perfuração 110 no furo de poço 130, devido a uma arfagem do mar, afeta a pressão de ponto de ajuste da cabeça de poço na superfície. A resposta da coluna de perfuração 110 no furo de poço 130 pode variar dependendo da profundidade do furo de poço 130 e o modelo de torque e arrasto 173 pode levar em conta a profundidade do furo de poço 130 quando determinando a pressão de ponto de ajuste da cabeça de poço na superfície.

[0033] Com referência novamente à FIG. 1, o modelo hidráulico 171 e o modelo de torque e arrasto 173 podem ser configurados para gerar um perfil de pressão no anular 115 que pode ser comparado com a pressão de poro e a pressão de fratura em locais desejados ao longo do poço 105. O ponto de ajuste WHP calculado pode, então, ser transmitido do modelo hidráulico em tempo real 171 e do modelo de torque e arrasto 173 no IHS 165 para o módulo controlador 176. O módulo controlador 176 dirige o atuador 175 para ajustar o estrangulamento ajustável 180 para conseguir uma pressão de cabeça de poço no sensor de pressão 185 aproximadamente igual à pressão de ponto de ajuste calculada. Como acima indicado, a pressão de ponto de ajuste calculada transmite uma pressão de superfície no anular 115 de modo que resulte na pressão de fundo de poço desejada (DDP) num local predeterminado ao longo do anular 115. A DDP pode compreender uma pressão predeterminada numa faixa que é menor que a pressão de fratura e maior que ou igual à pressão de poro da formação circundante A.

[0034] À medida que a densidade em tempo real e as propriedades reológicas do fluido de perfuração 102, a compressibilidade do fluido de perfuração 102, a elasticidade da coluna de perfuração 110 e/ou os movimentos dinâmicos da coluna de perfuração 110 e o fluido de perfuração

102 mudam, eles são detectados e os novos valores são inseridos no modelo hidráulico em tempo real 171 e no modelo de torque e arrasto 173 em tempo real. Os modelos 171, 173 podem ser programados para calcular um ponto de ajuste de aparelho de controle de fluxo modificado o qual pode ser transmitido para o controlador 176 para ajustar a pressão de superfície para conseguir a pressão de fundo de poço desejada na localização predeterminada. Numa modalidade, uma bomba de contrapressão 140 pode ser usada para ajudar a manter a WHP calculada, por exemplo, quando existe pouco ou nenhum fluxo de fluido de perfuração 102.

[0035] Há uma transferência de duas vias contínua de dados e informações entre os modelos 171, 173 e o módulo de aquisição de dados 170 e controlador 176 através do IHS 165. O módulo de aquisição de dados 170 e o IHS 165 operam para manter um fluxo contínuo de dados em tempo real dos sensores 156, 157 e 113 para os modelos 171, 173 de modo que os modelos 171, 173 possam ser calibrados para condições de furo de poço reais e possam atualizar a pressão de ponto de ajuste desejada que resulta para uma pressão predeterminada em um local de fundo de poço predeterminado. O modelo hidráulico 171 opera para alimentar o controlador 176 continuamente com um valor em tempo real para a pressão de ponto de ajuste da cabeça de poço desejada que resulta na pressão de fundo de poço desejada na localização predeterminada.

[0036] A FIG. 3 é um fluxograma de um método exemplar 300 para regular pressão de furo de poço. O método 300 pode incluir calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD), como em 302, e calcular uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD, como em 304. As pressões de

surgência e pistoneio podem ser baseadas num movimento da coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração. O método 300 pode incluir ainda determinar uma pressão de ponto de ajuste usando um modelo hidráulico em tempo real e o modelo de torque e arrasto, como em 306, e operar um sistema de estrangulamento MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular a pressão de fundo de poço predeterminada em um local predeterminado num furo de poço, como em 308.

[0037] Modalidades divulgadas neste documento incluem:

A. Um método que inclui calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD), calcular uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD, as pressões de surgência e pistoneio sendo baseadas no movimento da coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração, determinar uma pressão de ponto de ajuste utilizando um modelo hidráulico em tempo real e o modelo de torque e arrasto e operar um sistema de estrangulamento MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada em um local predeterminado em um furo de poço.

B. Um sistema de perfuração para perfuração de pressão gerenciada que inclui um ou mais sensores continuamente detectando em tempo real pelo menos uma propriedade de fluido de um fluido de perfuração entrando e saindo de um poço, um aparelho de controle de fluxo posicionado em uma linha de retorno de fluxo para regular um fluxo do fluido de perfuração saindo do furo de poço e um controlador operavelmente conectado ao aparelho de controle de fluxo e controlando o aparelho de controle de fluxo para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada numa localização

predeterminada no furo de poço, em que o controlador fornece instruções de controle para o aparelho de controle de fluxo com base numa elasticidade de uma coluna de perfuração calculada por um modelo de torque e arrasto e uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante operações de perfuração como calculado por um modelo hidráulico e em que as pressões de surgência e pistoneio são baseadas em um movimento da coluna de perfuração de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração.

C. Um produto de programa de computador incluindo um meio legível por computador não transitório tendo código de programa de computador legível por computador armazenado no mesmo, que, quando executado por um computador, configura o computador para calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD), calcular uma pressão de surgência e a uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD, as pressões de surgência e pistoneio sendo com base no movimento do coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração, determinar uma pressão de ponto de ajuste usando um modelo hidráulico em tempo real e o modelo de torque e arrasto, e operar um sistema de estrangulamento de MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada numa localização predeterminada em um furo de poço.

[0038] Cada uma das modalidades A, B e C pode ter um ou mais dos seguintes elementos adicionais em qualquer combinação: Elemento 1: em que a operação do sistema de estrangulamento de MPD inclui regular a pressão de fundo de poço predeterminada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço. Elemento 2: em que a determinação da pressão de

ponto de ajuste inclui obter uma densidade em tempo real do fluido de perfuração, obter pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço e calcular a pressão de ponto de ajuste com base pelo menos em parte na densidade em tempo real na pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração utilizando o modelo hidráulico em tempo real. Elemento 3: em que a pelo menos uma propriedade reológica inclui pelo menos uma razão de óleo/água, teor de cloretos, estabilidade elétrica, tensão de cisalhamento, resistência em gel, viscosidade plástica, ponto de escoamento e combinações dos mesmos. Elemento 4: em que a pressão de fundo de poço predeterminada é menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação. Elemento 5: determinar a pressão de ponto de ajuste pelo menos em parte numa compressibilidade de fluido de perfuração e pressão de atrito devido à circulação do fluido de perfuração através do furo de poço utilizando o modelo de torque e arrasto. Elemento 6: determinar a pressão de ponto de ajuste pelo menos em parte numa velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço utilizando o modelo de torque e arrasto. Elemento 7: calibrar o modelo hidráulico para condições de furo de poço reais em tempo real utilizando informações obtidas do furo de poço, as informações incluindo dados de levantamento, temperatura, pressão e ferramenta de fundo de poço. Elemento 8: obter as informações com um ou mais dispositivos de medição de fundo de poço. Elemento 9: calibrar o modelo de torque e arrasto para condições de furo de poço reais em tempo real, utilizando uma ou mais de uma pressão de atrito agindo na coluna de perfuração, uma velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço. Elemento 10: autonomamente regular a pressão de fundo de poço predeterminada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo

de poço para manter a pressão de ponto de ajuste.

[0039] Elemento 11: em que a pressão de fundo de poço predeterminada é regulada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço. Elemento 12: em que a pelo menos uma propriedade de fluido do fluido de perfuração inclui uma densidade do fluido de perfuração e pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço. Elemento 13: em que a pelo menos uma propriedade reológica inclui pelo menos uma razão de óleo/água, teor de cloretos, estabilidade elétrica, tensão de cisalhamento, resistência em gel, viscosidade plástica, ponto de escoamento e combinações dos mesmos. Elemento 14: em que o modelo hidráulico e o modelo de torque e arrasto calculam uma pressão de ponto de ajuste necessária para manter a pressão de fundo de poço predeterminada e a pressão de fundo de poço predeterminada é regulada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço. Elemento 15: em que a pressão de fundo de poço predeterminada é menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação.

[0040] Elemento 16: em que o computador é ainda configurado para operar o sistema de estrangulamento de MPD para regular a pressão de fundo de poço predeterminada operando o sistema de estrangulamento de MPD para controlar um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço. Elemento 17: em que o computador é ainda configurado para determinar a pressão de ponto de ajuste obtendo uma densidade em tempo real do fluido de perfuração, obter pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço usando o modelo hidráulico em tempo real e calcular a pressão de ponto de ajuste com base pelo menos em parte na densidade em tempo real na pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração utilizando o modelo hidráulico em tempo real. Elemento 18: em que o computador é ainda configurado para regular a

pressão de fundo de poço predeterminada de modo que a pressão de fundo de poço predeterminada seja menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação. Elemento 19: em que o computador é ainda configurado para calibrar o modelo hidráulico para condições de furo de poço reais em tempo real utilizando informações obtidas do furo de poço, as informações incluindo dados de levantamento, temperatura, pressão e ferramenta de fundo de poço. Elemento 20: em que o computador é ainda configurado para calibrar o modelo de torque e arrasto para condições de furo de poço reais em tempo real, utilizando uma ou mais de uma pressão de atrito agindo na coluna de perfuração, uma velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço.

[0041] Por meio de exemplo não limitante, combinações exemplares aplicáveis para A, B e C incluem: Elemento 1 com Elemento 3; Elemento 7 com Elemento 8; e Elemento 12 com Elemento 13.

[0042] Portanto, os sistemas e métodos divulgados são bem adaptados para alcançar as finalidades e as vantagens mencionadas, assim como aquelas que são inerentes aos mesmos. As modalidades particulares divulgadas acima são meramente ilustrativas, já que os ensinamentos da presente divulgação podem ser modificados e colocados em prática de maneiras diferentes, porém equivalentes, por indivíduos versados na técnica a partir dos ensinamentos encontrados neste documento. Além disso, nenhuma limitação é pretendida aos detalhes de construção ou projeto mostrados aqui, que não como descritos nas reivindicações abaixo. Portanto, é evidente que as modalidades ilustrativas particulares divulgadas acima podem ser alteradas, combinadas ou modificadas e todas essas variações são consideradas dentro do escopo da presente divulgação. Os sistemas e métodos ilustrativamente divulgados aqui apropriadamente podem ser praticados na ausência de qualquer elemento que não é divulgado especificamente aqui e/ou qualquer elemento opcional

divulgado aqui. Embora composições e métodos sejam descritos em termos de “compreendendo”, “contendo” ou “incluindo” vários componentes ou etapas, as composições e os métodos podem também “consistir essencialmente em” ou “consistir em” vários componentes e etapas. Todos os números e faixas divulgadas acima podem variar em alguma quantidade. Sempre que uma faixa numérica, com um limite inferior e um limite superior é divulgada, qualquer número e qualquer faixa incluída estando dentro da faixa é especificamente divulgada. Em particular, cada faixa de valores (da forma, “de cerca de a até cerca de b,” ou, equivalentemente, “de aproximadamente a até b,” ou, equivalentemente, “de aproximadamente a-b”) divulgada aqui, deve ser compreendida para estabelecer cada número e faixa abrangida dentro da faixa mais ampla de valores. Além disso, os termos nas reivindicações têm seu significado claro, ordinário, salvo se de outra forma explícito e claramente definidos pelo titular da patente. Além disso, os artigos indefinidos "um" ou "uma", como utilizados nas reivindicações, são aqui definidos para significar um ou mais do que um dos elementos que eles apresentam. Se houver qualquer conflito nos usos de uma palavra ou um termo neste relatório descritivo e uma ou mais patentes ou outros documentos que podem ser incorporados aqui por referência, as definições que são consistentes com este relatório descritivo devem ser adotadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para regular pressão de fundo de poço (105), caracterizado pelo fato de que compreende:

calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração (110) durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD) (100);

calcular uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração (110) durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD (100), as pressões de surgência e pistoneio sendo baseadas no movimento da coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração;

determinar uma pressão de ponto de ajuste utilizando um modelo hidráulico em tempo real (171) e o modelo de torque e arrasto (173); e

operar um sistema de estrangulamento de MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada em um local predeterminado em um furo de poço.

2. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a operação do sistema de estrangulamento de MPD compreende regular a pressão de fundo de poço predeterminada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço.

3. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a determinação da pressão de ponto de ajuste compreende:

obter uma densidade em tempo real do fluido de perfuração;

obter pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço; e

calcular a pressão de ponto de ajuste com base pelo menos em parte na densidade em tempo real e na pelo menos uma propriedade reológica

do fluido de perfuração utilizando o modelo hidráulico em tempo real.

4. Método de acordo com a reivindicação 3, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma propriedade reológica compreende pelo menos uma de razão de óleo/água, teor de cloretos, estabilidade elétrica, tensão de cisalhamento, resistência em gel, viscosidade plástica, ponto de escoamento e combinações dos mesmos.

5. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a pressão de fundo de poço predeterminada é menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação.

6. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que ainda compreende determinar a pressão de ponto de ajuste pelo menos em parte numa compressibilidade de fluido de perfuração e pressão de atrito devido à circulação do fluido de perfuração através do furo de poço utilizando o modelo de torque e arrasto.

7. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a determinação da pressão de ponto de ajuste pelo menos em parte numa velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço utilizando o modelo de torque e arrasto.

8. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda calibrar o modelo hidráulico para condições de furo de poço reais em tempo real utilizando informações obtidas do furo de poço, as informações incluindo dados de levantamento, temperatura, pressão e ferramenta de fundo de poço.

9. Método de acordo com a reivindicação 8, caracterizado pelo fato de que compreende ainda obter a informação com um ou mais dispositivos de medição de fundo de poço.

10. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado

pelo fato de que compreende ainda calibrar o modelo de torque e arrasto para condições de furo de poço reais em tempo real, utilizando uma ou mais de uma pressão de atrito agindo na coluna de perfuração, uma velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço.

11. Método de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que compreende ainda autonomamente regular a pressão de fundo de poço predeterminada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço para manter a pressão de ponto de ajuste.

12. Sistema de perfuração para perfuração de pressão gerenciada, caracterizado pelo fato de que compreende:

um ou mais sensores (156, 157, 113) detectando continuamente em tempo real pelo menos uma propriedade de fluido de um fluido de perfuração entrando e saindo de um poço;

um aparelho de controle de fluxo (180) posicionado em uma linha de fluxo de retorno para regular um fluxo do fluido de perfuração saindo do furo de poço; e

um controlador (190) operavelmente conectado ao aparelho de controle de fluxo (180) e controlando o aparelho de controle de fluxo para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada numa localização predeterminada no furo de poço,

em que o controlador fornece (190) instruções de controle para o aparelho de controle de fluxo com base numa elasticidade de uma coluna de perfuração calculada por um modelo de torque e arrasto (173), e uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração durante operações de perfuração como calculado por um modelo hidráulico (171), e

em que as pressões de surgência e pistoneio são baseadas em um movimento da coluna de perfuração de acordo com a elasticidade da

coluna de perfuração.

13. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a pressão de fundo de poço predeterminada é regulada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço.

14. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que em que a pelo menos uma propriedade de fluido do fluido de perfuração compreende uma densidade do fluido de perfuração e pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço.

15. Sistema de acordo com a reivindicação 14, caracterizado pelo fato de que a pelo menos uma propriedade reológica compreende pelo menos uma de razão de óleo/água, teor de cloretos, estabilidade elétrica, tensão de cisalhamento, resistência em gel, viscosidade plástica, ponto de escoamento e combinações dos mesmos.

16. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que o modelo hidráulico (171) e o modelo de torque e arrasto (173) calculam uma pressão de ponto de ajuste necessária para manter a pressão de fundo de poço predeterminada e a pressão de fundo de poço predeterminada é regulada controlando um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço.

17. Sistema de acordo com a reivindicação 12, caracterizado pelo fato de que a pressão de fundo de poço predeterminada é menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação.

18. Meio não-transitório legível por computador, caracterizado pelo fato de que compreende instruções legíveis por computador armazenadas no mesmo que, quando lidas por um computador, fazem com que o computador execute as etapas de:

calcular uma elasticidade de uma coluna de perfuração (110)

durante uma operação de perfuração utilizando um modelo de torque e arrasto incluído num sistema de controle de perfuração de pressão gerenciada (MPD) (100);

calcular uma pressão de surgência e uma pressão de pistoneio agindo na coluna de perfuração (110) durante a operação de perfuração utilizando um modelo hidráulico incluído no sistema de controle de MPD (100), as pressões de surgência e pistoneio sendo baseadas no movimento da coluna de perfuração e de acordo com a elasticidade da coluna de perfuração;

determinar uma pressão de ponto de ajuste utilizando um modelo hidráulico em tempo real (171) e o modelo de torque e arrasto; e

operar um sistema de estrangulamento de MPD com base na pressão de ponto de ajuste para regular uma pressão de fundo de poço predeterminada em um local predeterminado em um furo de poço.

19. Meio não-transitório legível por computador, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que o computador é ainda configurado para operar o sistema de estrangulamento de MPD para regular a pressão de fundo de poço predeterminada operando o sistema de estrangulamento de MPD para controlar um fluxo de fluido de perfuração saindo do furo de poço.

20. Meio não-transitório legível por computador, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que que o computador é ainda configurado para determinar a pressão de ponto de ajuste obtendo uma densidade em tempo real do fluido de perfuração, obter pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração entrando e saindo do furo de poço usando o modelo hidráulico em tempo real e calcular a pressão de ponto de ajuste com base pelo menos em parte na densidade em tempo real na pelo menos uma propriedade reológica do fluido de perfuração utilizando o modelo hidráulico em tempo real.

21. Meio não-transitório legível por computador, de acordo

com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que que o computador é ainda configurado para regular a pressão de fundo de poço predeterminada de modo que a pressão de fundo de poço predeterminada seja menor que uma pressão de fratura de uma formação sendo perfurada e maior ou igual a uma pressão de poro da formação.

22. Meio não-transitório legível por computador, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que que o computador é ainda configurado para calibrar o modelo hidráulico para condições de furo de poço reais em tempo real utilizando informações obtidas do furo de poço, as informações incluindo dados de levantamento, temperatura, pressão e ferramenta de fundo de poço.

23. Meio não-transitório legível por computador, de acordo com a reivindicação 18, caracterizado pelo fato de que que o computador é ainda configurado para calibrar o modelo de torque e arrasto para condições de furo de poço reais em tempo real, utilizando uma ou mais de uma pressão de atrito agindo na coluna de perfuração, uma velocidade da coluna de perfuração na ou acima de uma superfície do poço e uma velocidade da coluna de perfuração no furo de poço.

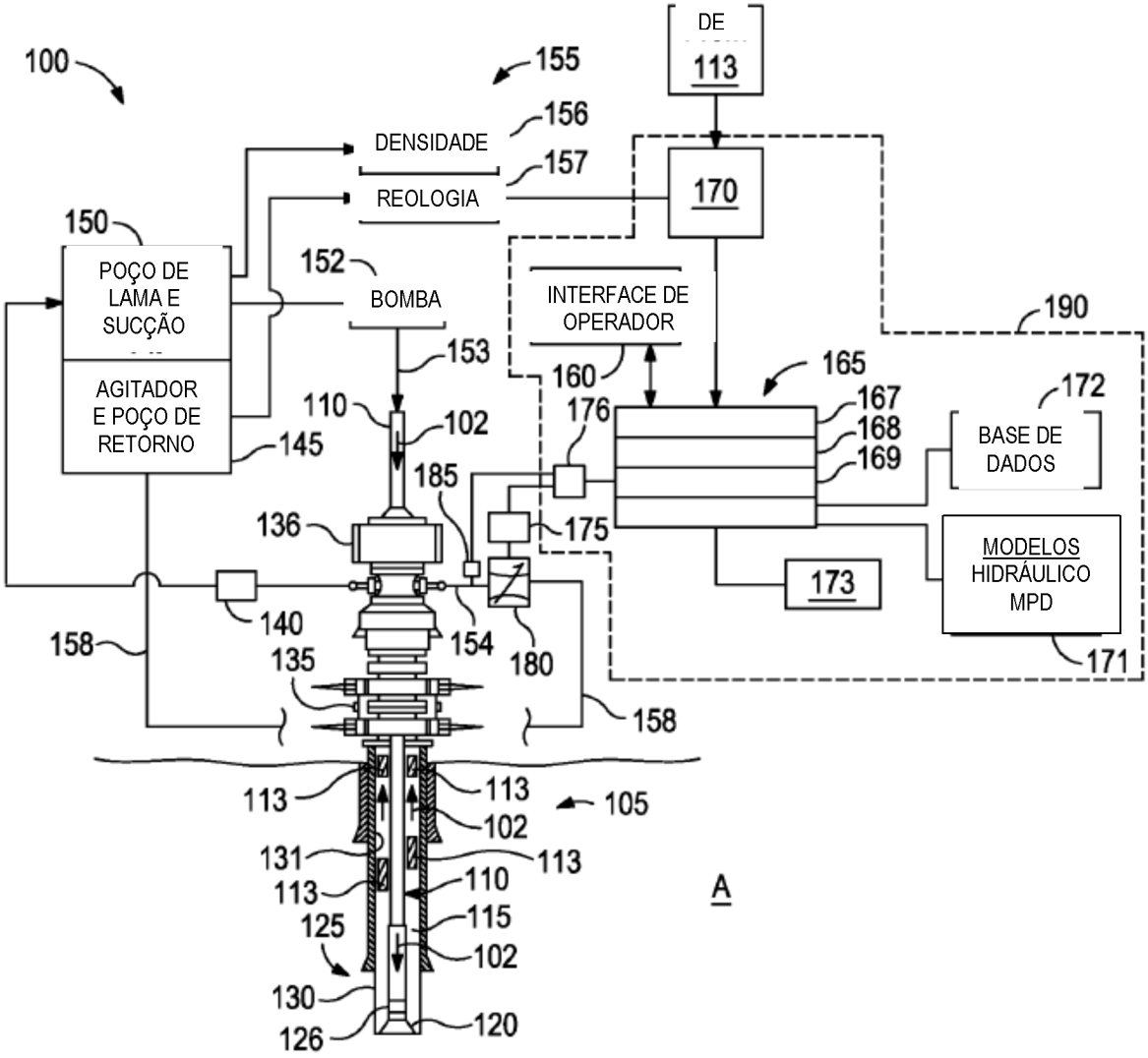

100
155
DE
113
DENSIDADE
156
157
REOLOGIA
170
150
POÇO DE LAMA E SUCÇÃO
152
BOMBA
INTERFACE DE OPERADOR
190
153
160
165
AGITADOR E POÇO DE RETORNO
110
102
145
176
167
168
169
172
BASE DE DADOS
185
136
175
MODELOS HIDRÁULICO MPD
173
140
158
154
180
135
171
158
113
113
105
102
131
113
113
110
115
125
102
130
120
126
A

FIG. 1

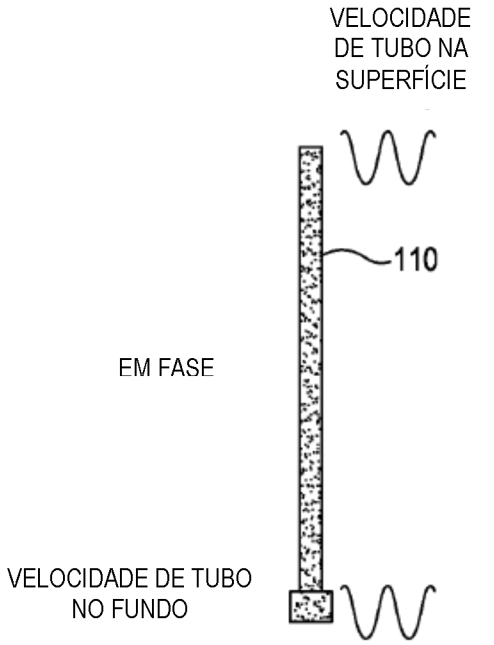


FIG. 2A

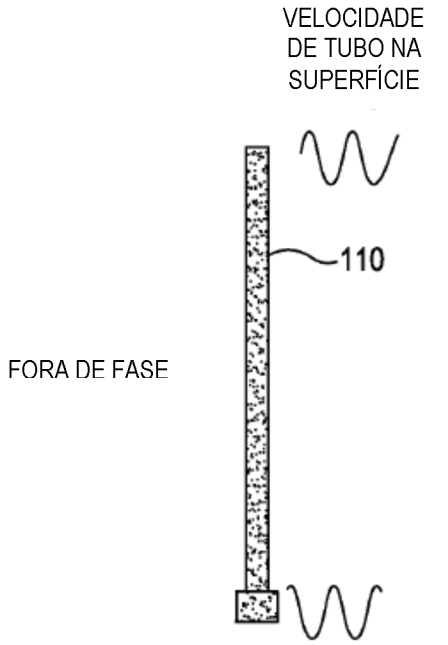


FIG. 2B

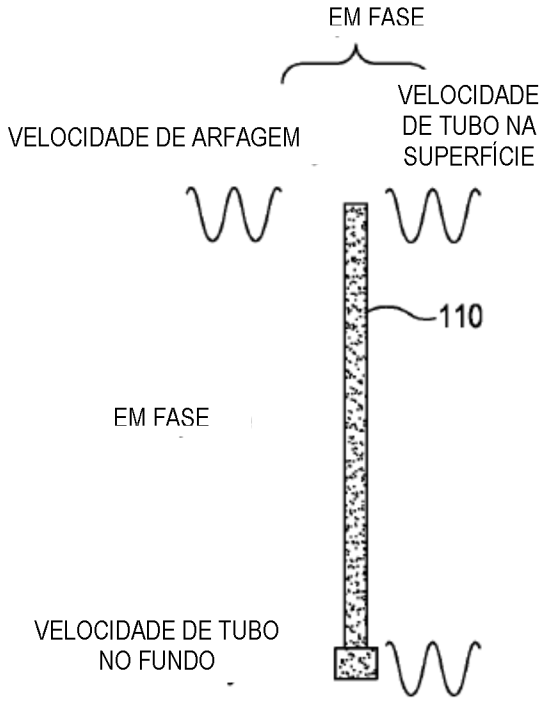


FIG. 2C

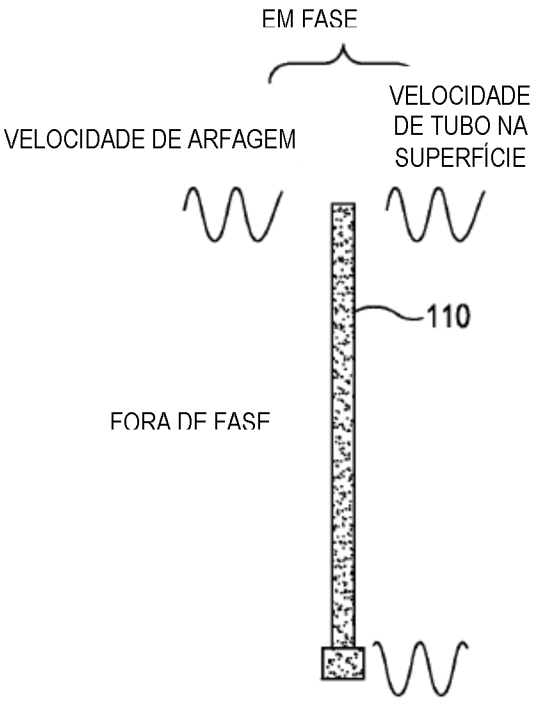


FIG. 2D

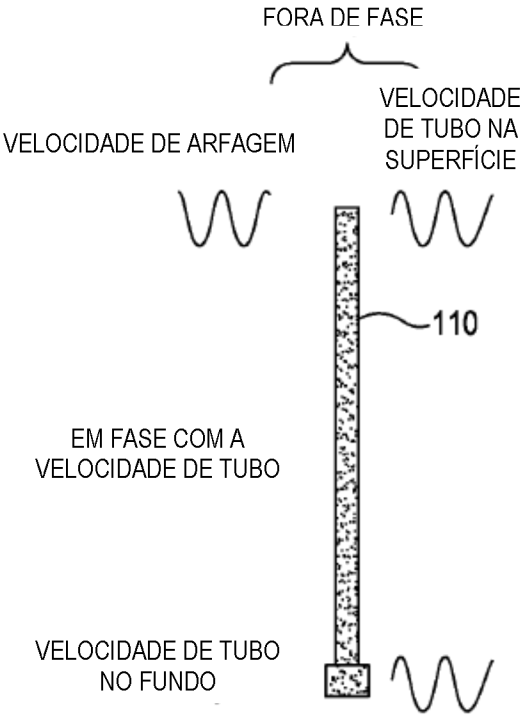


FIG. 2E

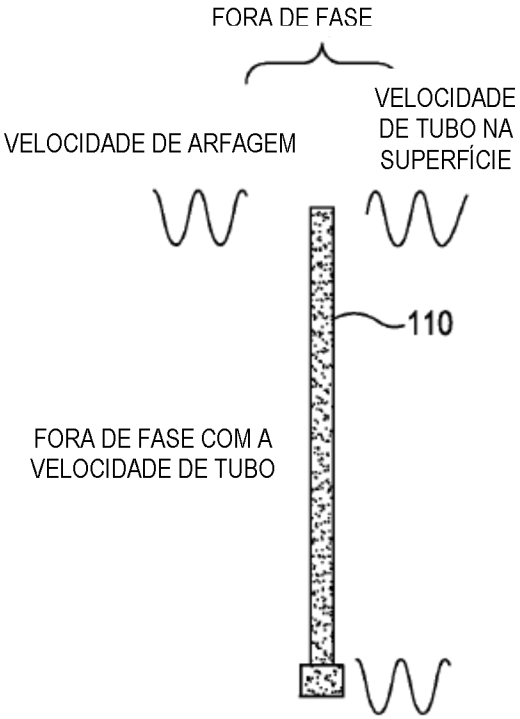


FIG. 2F

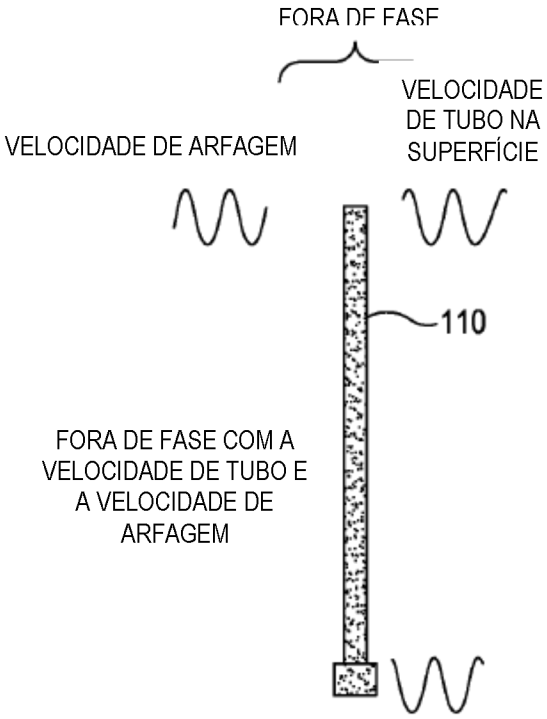


FIG. 2G

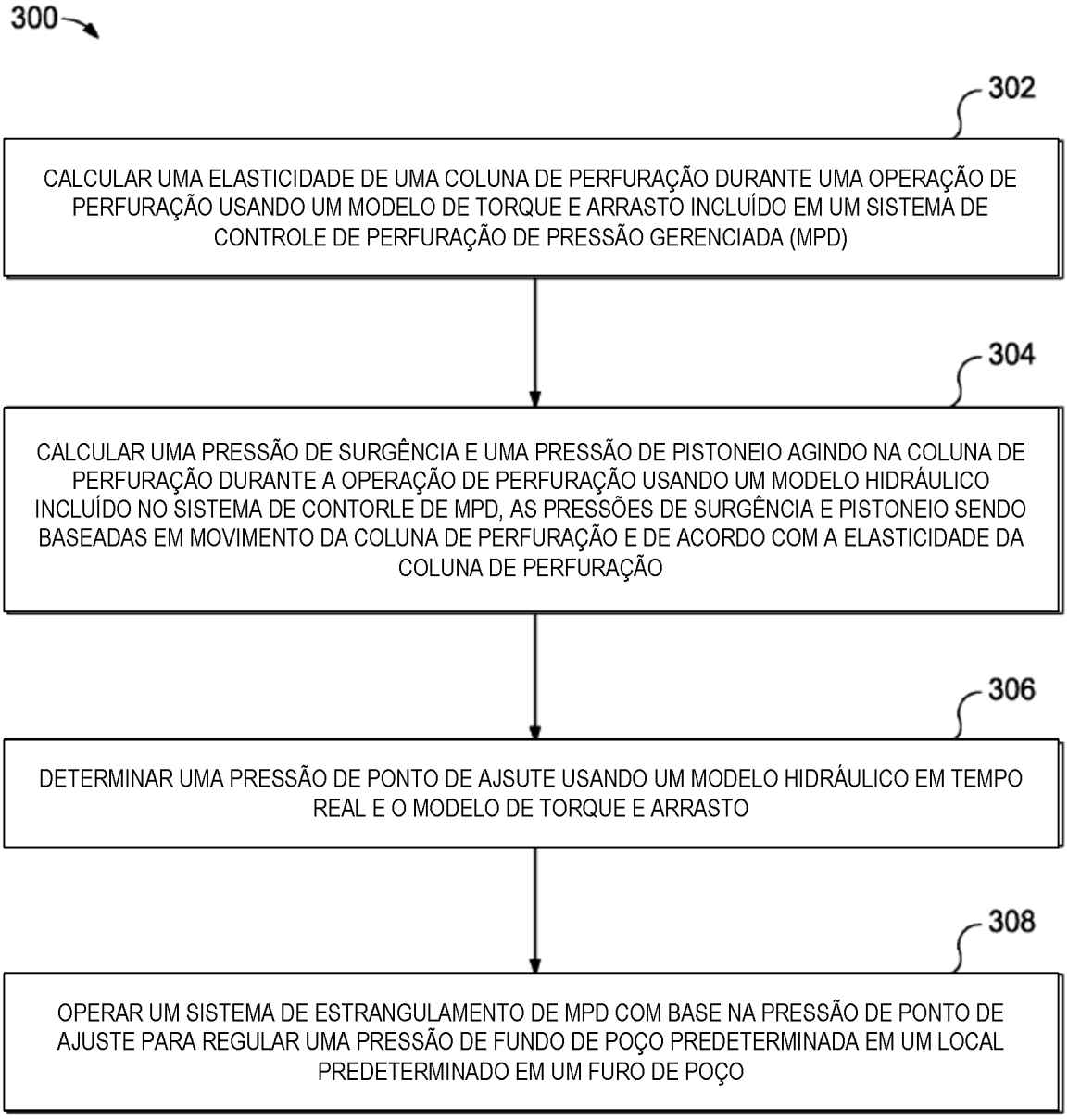

300
302
CALCULAR UMA ELASTICIDADE DE UMA COLUNA DE PERFURAÇÃO DURANTE UMA OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO USANDO UM MODELO DE TORQUE E ARRASTO INCLUÍDO EM UM SISTEMA DE CONTROLE DE PERFURAÇÃO DE PRESSÃO GERENCIADA (MPD)
304
CALCULAR UMA PRESSÃO DE SURGÊNCIA E UMA PRESSÃO DE PISTONEIO AGINDO NA COLUNA DE PERFURAÇÃO DURANTE A OPERAÇÃO DE PERFURAÇÃO USANDO UM MODELO HIDRÁULICO INCLUÍDO NO SISTEMA DE CONTORLE DE MPD, AS PRESSÕES DE SURGÊNCIA E PISTONEIO SENDO BASEADAS EM MOVIMENTO DA COLUNA DE PERFURAÇÃO E DE ACORDO COM A ELASTICIDADE DA COLUNA DE PERFURAÇÃO
306
DETERMINAR UMA PRESSÃO DE PONTO DE AJSUTE USANDO UM MODELO HIDRÁULICO EM TEMPO REAL E O MODELO DE TORQUE E ARRASTO
308
OPERAR UM SISTEMA DE ESTRANGULAMENTO DE MPD COM BASE NA PRESSÃO DE PONTO DE AJUSTE PARA REGULAR UMA PRESSÃO DE FUNDO DE POÇO PREDETERMINADA EM UM LOCAL PREDETERMINADO EM UM FURO DE POÇO

FIG. 3