



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

(11) PI 0508906-9 B1

(22) Data do Depósito: 22/03/2005

(45) Data de Concessão: 26/06/2018



(54) Título: MÉTODO E DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO E/OU CONTROLE DE UMA CARGA EM UM ELEMENTO DELGADO

(51) Int.Cl.: G01L 5/04; B63B 27/30

(30) Prioridade Unionista: 22/03/2004 US 60/554,989

(73) Titular(es): VETCO GRAY SCANDINAVIA AS

(72) Inventor(es): HOEN, CHRISTOPHER

**“MÉTODO E DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO E/OU CONTROLE DE
UMA CARGA EM UM ELEMENTO DELGADO”**

CAMPO DA INVENÇÃO

[001] A presente invenção refere-se a um método e dispositivo para monitorar e/ou controlar uma carga em um elemento delgado, alongado e tensionado, que se estende a partir de um elemento de cabeça de poço submarina para uma embarcação de superfície, pelo que o elemento alongado tensionado é disposto de modo a ser deslocado na sua direção longitudinal, dentro ou fora do elemento de cabeça de poço submarina, através de uma entrada em uma extremidade superior deste último.

[002] O elemento alongado tensionado pode ser qualquer tipo de *tubing* (tubo de pequeno diâmetro usado em uma coluna de produção, ou simplesmente "tubulação") ou cabo, ou até mesmo uma viga. O elemento de cabeça de poço pode ser qualquer tipo de elemento guia, preferencialmente, um tubo guia, tal como, uma tubulação lubrificadora, a qual apresenta uma rigidez de dobramento que é substancialmente superior a do elemento alongado tensionado.

[003] Em particular, conforme será posteriormente descrito na descrição da presente invenção, o elemento alongado tensionado compreende um *tubing* em serpentina e o elemento de cabeça de poço compreende um dispositivo lubrificador, especialmente um tubo ou tubulação, através da qual o *tubing* em serpentina é avançado para dentro do poço ou da cabeça de poço. Conseqüentemente, a invenção refere-se, em particular, a um assim chamado sistema sem *riser* (tubulação ascendente), na qual o *tubing* em serpentina livremente no mar aberto, entre corre a embarcação de superfície e a cabeça de poço submarina.

ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[004] O *tubing* em serpentina que corre em mar aberto sem o uso de um tubo ascendente marinho ou um tubo ascendente de *workover* (atividades de estimulação, restabelecimento ou aumento de produção) impõe requisitos na operação da embarcação e do *tubing* em serpentina. Devido à limitada resistência mecânica do *tubing* em serpentina e da chaminé submarina, incluindo a tubulação lubrificadora, é imperativo que o equipamento seja operado dentro de certos limites predefinidos, correlacionados com a capacidade estrutural do equipamento. Isto implica que as seguintes quantidades precisam ser controladas ou monitoradas, tanto direta, como indiretamente:

- tração no topo do CT (sigla de "*Coiled Tubing*", isto é *tubing* em serpentina);
- declividade do CT, quando o mesmo deixa o injetor de topo na embarcação;
- dobramento do CT, quando da entrada no lubrificador;
- tração do CT, quando da entrada no lubrificador.

[005] Os meios para manter o controle dessas quantidades incluem o posicionamento da embarcação e a tração de topo aplicada no *tubing* em serpentina. Três desses quatro parâmetros, podem ser facilmente obtidos através de medições diretas: tração de topo e declividade no injetor de topo; e medições indiretas: tração do CT no lubrificador, que é derivada da tração de topo e do peso aparente do *tubing* em serpentina (CT).

[006] A manutenção da integridade estrutural do *tubing* em serpentina e da chaminé submarina é essencial. As cargas críticas com relação à integridade estrutural estão correlacionadas com a entrada do *tubing* em serpentina dentro do lubrificador, o que ocorrerá próximo da posição vertical.

[007] Quando o *tubing* em serpentina entra no lubrificador, o

mesmo é localmente restringido de livremente modificar de formato, como uma resposta à carga externa. Isto é, o *tubing* em serpentina deve satisfazer as condições limites dadas pela entrada dentro da tubulação lubrificadora. Qualquer desvio entre a direção do *tubing* em serpentina e a direção da tubulação lubrificadora irá, portanto, introduzir forças laterais entre o *tubing* em serpentina e a tubulação lubrificadora.

[008] Estas forças laterais irão localmente induzir momentos de dobramento no *tubing* em serpentina. A fim de evitar a ruptura causada pelo excesso de dobramento do *tubing* em serpentina e/ou da tubulação lubrificadora, essas cargas devem ser controladas.

[009] O posicionamento da embarcação, de modo a que não exista dobramento local do *tubing* em serpentina quando o mesmo entra na tubulação lubrificadora, implica em que a força axial no *tubing* em serpentina é dirigida ao longo da tubulação lubrificadora.

[010] Consequentemente, não haverá nenhuma força lateral atuando na tubulação lubrificadora para essa configuração do *tubing* em serpentina. A posição da embarcação que resulta nessa configuração do *tubing* em serpentina é a posição ótima com relação à integridade do *tubing* em serpentina e da chaminé submarina durante a operação.

[011] Portanto, é de vital importância se conhecer o momento de dobramento e a declividade do *tubing* em serpentina quando o mesmo entra na tubulação lubrificadora. Entretanto, pelo fato de que o *tubing* em serpentina, na maioria das vezes, durante a operação está sendo inserido ou está sendo retirado do poço, é considerado impossível na prática, se medir a declividade ou o momento de dobramento na entrada do lubrificador, diretamente no próprio *tubing* em serpentina.

OBJETIVO DA INVENÇÃO

[012] Constitui um objetivo da presente invenção, apresentar um

método e um dispositivo que solucionam ou que trazem uma importante contribuição para solucionar os problemas acima descritos. Em particular, a presente invenção pretende apresentar um método e um dispositivo que irão possibilitar ou facilitar a coleta de informação sobre a inclinação/declividade e/ou momento de dobramento do elemento alongado tensionado (tipicamente um *tubing* em serpentina), de modo a monitorar e/ou controlar as cargas sobre o dito elemento.

[013] Um objetivo secundário da invenção é de apresentar um método e dispositivo que garanta, ou pelo menos promova e facilite a provisão da posição da embarcação, que resulta em uma ótima configuração do elemento alongado tensionado, com relação à integridade do elemento alongado e do elemento de cabeça de poço, dentro do qual, o elemento alongado é introduzido durante a operação.

RESUMO DA INVENÇÃO

[014] O principal objetivo da invenção é alcançado através do método inicialmente definido, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço; e
- estimativa do momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado numa região de base, adjacente à e/ou na entrada da extremidade superior do elemento de cabeça de poço, com base na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço.

[015] Assim, através de medição e monitoramento, preferencialmente, de modo contínuo, do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço, que pode compreender, por exemplo, momento de dobramento, magnitudes e direções de forças laterais na entrada superior do elemento de cabeça de poço ou outras quantidades responsivas do

elemento de cabeça de poço, tais como, por exemplo, trações, esforços ou inclinações, correlacionados aos momentos de dobramento e magnitudes de forças laterais através de relações mecânicas bem definidas, tais como, por exemplo, as equações de Euler-Bernouilli, podem ser deduzidas informações sobre o momento de dobramento e declividade do elemento alongado tensionado.

[016] O comportamento estrutural que pode ser mais facilmente obtido, compreende o dobramento do elemento de cabeça de poço, que também está diretamente correlacionado ao momento de dobramento aplicado, através do elemento alongado tensionado, na entrada do elemento de cabeça de poço. O momento de dobramento do elemento alongado tensionado pode ser obtido através da medição da inclinação (ou declividade) do mesmo, por meio de um inclinômetro, ou através da medição da tração por meio de calibradores de tensão.

[017] De acordo com uma modalidade preferida da invenção, a medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço, compreende a etapa de medição da inclinação, declividade ou momento de dobramento do elemento de cabeça de poço, direta ou indiretamente.

[018] De acordo com uma modalidade preferida da invenção, a declividade/inclinação da entrada terminal superior do elemento de cabeça de poço é medida diretamente ou é derivada das medições responsivas correlacionadas à inclinação/declividade da entrada terminal superior, por exemplo, através de equações elementares de viga de Euler-Bernouilli.

[019] As forças externas sobre o elemento de cabeça de poço (tubulação lubrificadora) são causadas pelo elemento alongado tensionado (*tubing* em serpentina) e pelas cargas distribuídas pela corrente de água. No caso das cargas distribuídas sobre a tubulação lubrificadora serem desconsideradas, o momento no *tubing* em serpentina é dado diretamente a

partir do ângulo superior da tubulação lubrificadora:

$$M_{CT} = \frac{2EI_L \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}}{T_{CT} \cdot l^2 + 2l \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}} \cdot \theta_1 = \frac{EI_L}{\frac{1}{2} kl^2 + l} \cdot \theta_1$$

[020] Em consequência da relação apresentada acima, a estimativa da declividade da base do elemento alongado tensionado se fundamenta na seguinte equação:

$$\theta_{CT} = \frac{2EI_L}{T_{CT} \cdot l^2 + 2l \sqrt{T_{CT} \cdot EI_{CT}}} \cdot \theta_1 = \frac{1}{\frac{1}{2} (kl)^2 + kl} \cdot \frac{EI_L}{EI_{CT}} \cdot \theta_1$$

onde:

- θ_{CT} é o ângulo do elemento alongado tensionado na dita entrada;

- EI_{CT} é a rigidez de dobramento do elemento alongado tensionado;

- EI_L é a rigidez de dobramento do elemento de cabeça de poço;

- l é o comprimento do elemento de cabeça de poço;

- T_{CT} é a tração na direção longitudinal do elemento alongado tensionado, na dita entrada superior;

- $k = \sqrt{\frac{T_{CT}}{EI_{CT}}}$ é o fator de flexibilidade do elemento alongado tensionado; e

- θ_1 o ângulo do elemento de cabeça de poço na entrada superior do mesmo, medido direta ou indiretamente.

[021] Para o caso geral em que as cargas externas distribuídas sobre o elemento de cabeça de poço não podem ser desconsideradas, o método de acordo com a invenção é caracterizado pelo fato de que dois ou mais parâmetros responsivos θ_{zi} ($i = 1, 2, \dots$) do elemento de cabeça de poço, são medidos, direta ou indiretamente, em diferentes níveis (z_i), acima da

extremidade inferior do elemento de cabeça de poço e que a estimativa da declividade da base do elemento alongado tensionado é baseada em relações do seguinte tipo:

$$\mathbf{WAr} = \mathbf{W}\Theta \text{ com } \mathbf{r} = \begin{bmatrix} M_{CT} \\ \mathbf{q} \end{bmatrix}$$

onde:

- \mathbf{W} é uma adequada matriz de ponderação não-singular;
- Θ é um vetor de medições contendo parâmetros responsivos, tais como, por exemplo, declividades/inclinações ou trações/esforços ou momentos de dobramento;
- \mathbf{A} é um coeficiente matriz, correlacionando M_{CT} e \mathbf{q} à resposta medida;
- M_{CT} momento de dobramento do elemento alongado; e
- \mathbf{q} é o parâmetro que descreve a distribuição de carga lateral sobre o elemento de cabeça de poço.

[022] As declividades do elemento alongado tensionado na extremidade inferior (isto é, na entrada dentro do elemento de cabeça de poço) são agora fornecidas mediante inserção da solução para M_{CT} a partir desta última equação, dentro da seguinte equação:

$$M_{CT} = \theta_{CT} \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}$$

[023] De acordo com uma adicional modalidade da invenção, o método também inclui:

- medição da tração de topo e, opcionalmente, do ângulo de topo do elemento alongado tensionado; e
- estimativa de uma posição de embarcação que minimiza o dobramento do elemento alongado tensionado na entrada da cabeça de poço, com base na tração de topo medida e, opcionalmente, no ângulo de topo

medido, em combinação com a declividade estimada da base do elemento alongado tensionado.

[024] Deve ser observado que, para fins práticos, a força de reação horizontal na extremidade inferior do elemento alongado tensionado é soma uma de dois componentes, a saber:

- uma força proporcional ao deslocamento terminal superior; e
- uma força proporcional a um deslocamento generalizado causado pelas cargas externas distribuídas, por exemplo, as cargas das correntes.

[025] Para o *tubing* em serpentina suspenso e tensionado, exposto aos movimentos da embarcação e ondas, assim como às forças das correntes, ângulos zero, em geral, não podem ser obtidos na extremidade inferior e extremidade superior, simultaneamente. Na maioria dos casos de cargas de correntes, não existe posição de embarcação onde os ângulos superior e inferior sejam ambos de valor zero. Entretanto, podem existir casos em que a corrente apresenta camadas de direções altamente divergentes, que levam ao cancelamento dos efeitos e a uma reduzida resposta do *tubing* em serpentina.

[026] O efeito sobre a declividade do *tubing* em serpentina, com relação à mudança em uma posição de embarcação é determinado pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned}\operatorname{sen} \alpha_{bv} &= \frac{K_T}{T_b} u_v \\ \operatorname{sen} \alpha_{iv} &= \frac{K_T}{T_t} u_v\end{aligned}$$

onde K_T é um fator de rigidez definido como:

$$K_T = \frac{1}{L} \int_0^L \frac{ds}{T(s)}$$

onde:

- T (S) é a distribuição de tração efetiva ao longo do *tubing* em serpentina;

- L é o comprimento da parte suspensa do *tubing* em serpentina; e

- u_v é a mudança na posição da embarcação.

[027] O momento de dobramento do elemento alongado tensionado na entrada do elemento de cabeça de poço será zero se a declividade da extremidade inferior for zero. Nesse caso, a força lateral na extremidade de topo do elemento de cabeça de poço, causada pelo elemento alongado tensionado, será também zero.

[028] A declividade do elemento alongado tensionado próximo da entrada do elemento de cabeça de poço é o somatório de um termo correlacionado ao desvio e um termo provocado por forças ou cargas laterais externas, tais como, as correntes marinhas e ondas. A parte correlacionada aos desvios das declividades deve ser computada do peso próprio do *tubing* em serpentina, da flutuação, tração de topo e desvio da embarcação, conforme apresentado pelas equações acima. Inversamente, para qualquer declividade dada (por exemplo, medida direta ou indiretamente), pode ser estimado o desvio requerido para produzir o ângulo em questão.

[029] O deslocamento da extremidade de topo pode ser computado a partir de ambas as equações acima. Para os *tubing* em serpentina suspensos e tensionados (como um exemplo típico de um elemento alongado tensionado), com ação de carga lateral do deslocamento de extremidade de topo computado, usando o ângulo de extremidade inferior, seria geralmente diferente do deslocamento de extremidade de topo

computado, usando o ângulo de extremidade superior.

[030] Entretanto, ao se introduzir a condição de que os dois estimados deslocamentos de extremidade de topo devem ser iguais, um deslocamento de extremidade de topo equivalente ou desvio equivalente podem ser computados usando um método de mínimos quadrados. Ao introduzir fatores de ponderação dentro da solução de mínimos quadrados, pode ser identificado um desvio equivalente ponderado. A nova posição da embarcação pode então ser definida em termos do vetor de reposicionamento. O vetor de reposicionamento é o vetor que irá cancelar o desvio equivalente ponderado, quando aplicado relativamente à posição da embarcação presente. O vetor de reposicionamento é simplesmente a magnitude do desvio equivalente ponderado, com o ângulo azimutal girado de 180°.

[031] O reposicionamento da embarcação usando o vetor de reposicionamento irá proporcionar a possibilidade de obtenção de mínimas declividades nas extremidades inferior e superior do *tubing* em serpentina para os escolhidos fatores de peso, tração de topo e reais condições ambientais.

[032] As declividades do *tubing* em serpentina superiores e de base são parcialmente controladas pela posição e tração da plataforma. Para uma tração inicialmente alta, a mudança de posição é muito mais eficiente do que a mudança de tração em relação à minimização das declividades. Entretanto, na extremidade inferior, onde a tração pode ser relativamente baixa se comparada à tração de topo, a mudança da tração de topo pode ser eficiente para ajustar o ângulo para o valor de zero. Quando uma redução ou aumento são aplicados, os mesmos podem ser determinados usando a seguinte equação:

$$\alpha_b \cong \text{sen } \alpha_b = \frac{K_T (u_v + u_{bf})}{T_b \cos \beta_b} = \frac{K_T v_{bf}}{|T_b \sin \beta_b}$$

desde que o desvio da embarcação u_v seja conhecido. De

qualquer modo, a mudança na tração irá influenciar apenas a parte da declividade que é provocada pelas cargas das ondas, correntes marinhas e peso aparente do *tubing* em serpentina, não influenciando o componente provocado pelo desvio da extremidade superior.

[033] De acordo com uma modalidade preferida da invenção, o método é caracterizado pelo fato de que a estimativa da posição preferida da embarcação com relação à presente posição da embarcação, em um sistema de coordenadas com eixos horizontais X e Y, é baseada na seguinte relação:

$$\mathbf{WKx} = \mathbf{W}\alpha$$

onde:

- \mathbf{W} é uma adequada não-singular matriz de ponderação;
- \mathbf{K} é um coeficiente matriz relativo aos deslocamentos e ângulos;

$$-\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix}$$

é um vetor de coordenadas cartesianas dos deslocamentos equivalentes ponderados;

- α é um vetor de inclinação senoidal.

[034] A posição ótima da embarcação é obtida movendo-se a embarcação de uma distância:

$$\Delta H = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

na direção:

$$\psi = \text{atan} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right)$$

onde ψ é medido em radianos, no sentido anti-horário em relação ao eixo X do sistema coordenado de medição e com:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix}$$

[035] Para um melhor entendimento das equações acima, é feito referência à seguinte descrição detalhada, tendo como suporte os desenhos

anexos.

[036] O objetivo da invenção é também alcançado por meio de um dispositivo conforme inicialmente definido, caracterizado pelo fato de compreender:

- meios para medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço; e

- meios para estimar o momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado numa região de base adjacente à e/ou na entrada da extremidade de topo do elemento de cabeça de poço, baseado na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço.

[037] Além disso, as modalidades preferidas do dispositivo inventivo são definidas nas reivindicações dependentes 10-20.

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

[038] A invenção será ainda descrita por meio de exemplo, levando-se em consideração os desenhos seguintes, em que:

- a figura 1 representa uma vista esquemática de um sistema para intervenção de um poço submarino, incluindo uma embarcação de intervenção posicionada dinamicamente, um *tubing* em serpentina e uma instalação de cabeça de poço, de acordo com uma modalidade da invenção;

- a figura 2 representa uma vista lateral esquemática, ilustrando uma modalidade preferida de uma típica colocação de sensores (por exemplo, inclinômetros biaxiais), de acordo com a invenção;

- a figura 3 representa uma vista lateral esquemática, ilustrando outra preferida modalidade de um típico deslocamento de sensores (por exemplo, calibradores de tensão), de acordo com a invenção;

- a figura 4 representa um diagrama esquemático mostrando o princípio de transferência de carga do *tubing* em serpentina a de uma tubulação lubrificadora no topo da tubulação lubrificadora;

- a figura 5 representa um diagrama esquemático mostrando o modelo de análise de tubulação lubrificadora que define os parâmetros envolvidos no modelo matemático desenvolvido para estimativa do momento de dobramento do *tubing* em serpentina do comprimento medido da tubulação lubrificadora;

- a figura 6 representa um diagrama esquemático mostrando um *tubing* em serpentina em uma embarcação em uma massa de corpo de água, e relevantes parâmetros, a serem aplicados no modelo matemático do sistema;

- a figura 7 representa um diagrama esquemático do princípio de superposição aplicado a um *tubing* em serpentina suspenso e tensionado, exposto ao desvio de extremidade de topo e cargas laterais distribuídas;

- a figura 8 representa um diagrama esquemático mostrando a aplicação do princípio de superposição para se obter um desejado ângulo de extremidade inferior, isto é, o princípio de reposicionamento; e

- a figura 9 representa um diagrama esquemático indicando como obter os ângulos de extremidade inferior e extremidade de topo, respectivamente obtidos para o *tubing* em serpentina lateralmente carregado, mediante aplicação do deslocamento da extremidade de topo quando nenhuma carga lateral se faz presente.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[039] A figura 1 mostra um sistema preferido, em que o dispositivo da invenção para monitoramento e/ou controle de uma carga em um *tubing* em serpentina tensionado (1) deve ser aplicado. Um sistema correspondente ao da figura 1 foi também descrito no Pedido de Patente Internacional PCT/IB2003/003084 (WO 2004/003338 A1), o qual é aqui integralmente incluído por meio dessa referência. O *tubing* em serpentina (1) se estende de uma embarcação de intervenção (2) posicionada dinamicamente, através de uma massa de corpo de água no mar aberto, descendente para

uma instalação de submarina de cabeça de poço (3). Por questões de simplicidade, a figura 1 mostra apenas os principais componentes do sistema, focando as partes portadoras de carga estrutural: *tubing* em serpentina (1), embalagem lubrificadora (6), etc.

[040] O sistema compreende os seguintes componentes principais: um sistema superficial de *tubing* em serpentina, incluindo um sistema de suspensão e tensionamento (4) do *tubing* em serpentina compensado içado e uma bobina *tubing* de serpentina (5) para alimentação externa/encolhimento do *tubing* em serpentina; um sistema de manipulação e compensação de movimento superficial (não mostrado) para processamento e recuperação do equipamento/volumes, manipulação e fixação marinha de equipamentos/volumes no piso da embarcação, compensação de movimentos de *tubing* em serpentina de superfície durante a operação; um sistema lubrificador submarino, incluindo o volume do lubrificador (6) do *tubing* em serpentina, um volume de injetor submarino (7) do *tubing* em serpentina e um volume de barreira de poço (8); e um sistema de controle/monitoramento (não mostrado), incluindo todo o equipamento necessário para processamento e controle/monitoramento do sistema.

[041] A instalação submarina (3) de cabeça de poço é preferencialmente conectada através de um volume adaptador de árvore de Natal a uma árvore de Natal da cabeça de poço (não mostrado) localizada no fundo do mar. O volume do lubrificador (6) de *tubing* em serpentina compreende um elemento de tubulação lubrificadora (9) com uma tubulação lubrificadora (10), uma seção de extremidade superior (11), adaptada para ser encaixada na tubulação lubrificadora (10) e uma estrutura de suporte (12) do elemento lubrificador. O volume do injetor (7) de *tubing* em serpentina compreende meios de acionamento, preferencialmente, se estendendo na direção axial do dito volume, entre os quais o elemento de tubulação

lubrificadora (9) é avançado/encolhido durante a operação.

[042] A suspensão por tração do *tubing* em serpentina (1) de uma embarcação na superfície (2) para o elemento de cabeça de poço transporta as cargas transversais da mesma maneira que uma corda ou um cabo, isto é, as cargas laterais são transportadas por meio de tração no *tubing* em serpentina. A força axial no comprimento do *tubing* em serpentina suspenso, irá, portanto, sempre ser dirigida ao longo da tangente do em relação ao *tubing*. Assim, haverá uma mudança na direção da força axial ao longo do *tubing* em serpentina, na medida em que o formato do *tubing* em serpentina suspenso se desvia de uma linha reta. Essa mudança na direção da força axial torna possível ao *tubing* em serpentina transportar grandes cargas laterais, sendo estas distribuídas, concentradas ou combinando essas duas formas.

[043] A tubulação lubrificadora (10) e a embarcação (2) suportam as cargas transversais no *tubing* em serpentina causadas, por exemplo, por uma corrente marinha. A grandeza da carga lateral suportada pela tubulação lubrificadora e embarcação, respectivamente, depende da posição da embarcação em relação ao elemento de cabeça de poço e da grandeza da força da corrente ao longo do *tubing* em serpentina.

[044] As figuras 2 e 3 ilustram dois diferentes deslocamentos de sensor e tipos de sensor para medição do comportamento estrutural do elemento de tubulação lubrificadora (9), de acordo com as modalidades preferidas da presente invenção.

[045] A figura 2 ilustra uma modalidade que inclui sensores do tipo de inclinômetros biaxiais (13), para medição das inclinações/declividades do elemento de tubulação lubrificadora (9). Os inclinômetros (13) são colocados na tubulação lubrificadora (10) sobre três diferentes níveis: na parte superior (11), na metade e na parte inferior da tubulação lubrificadora (10).

Esta, dessa forma, é uma posição preferida, do ponto-de-vista de medição. Além disso, três inclinômetros (13), conforme mostrado na figura 2, são preferidos. Entretanto, adicional(is) inclinômetro(s) (13) são colocados em nível(is) adicional(is), naturalmente, aumentando a precisão da estimativa das medições.

[046] A figura 3 ilustra uma modalidade que inclui sensores do tipo de calibradores de tensão (14) para medição (direta ou indireta) de tensão/esforços/momentos do elemento de tubulação lubrificadora (9). Conforme mostrado na figura 3, quatro calibradores de tensão (14) são colocados de forma igualmente distribuída em torno da circunferência em três diferentes níveis: na parte superior (11) e na parte inferior da tubulação lubrificadora (10). Além disso, quatro calibradores de tensão (14), conforme mostrado na figura 3, são preferidos. Entretanto, adicionais calibradores de tensão (14), colocados no(s) mesmo(s) nível(is) e/ou em nível(is) adicional(is), naturalmente, irão aumentar a precisão de estimativa das medições.

[047] Conseqüentemente, em vista do exposto acima, a presente invenção pode incluir um ou mais sensores. Tipicamente, os sensores (13) ou (14) são colocados sobre a tubulação lubrificadora (10). Entre os tipos de sensores que podem ser utilizados se encontram os inclinômetros e/ou calibradores de tensão. Um tipo de inclinômetro que pode ser utilizado é um inclinômetro biaxial. Outros tipos de sensores podem ser também utilizados, adicionalmente ou alternativamente. Um ou mais tipos de sensores podem ser utilizados simultaneamente.

[048] Os sensores podem ser colocados em qualquer local que possam detectar o que pretendem medir. Algumas modalidades podem incluir sensores dispostos em diferentes níveis. Um ou mais níveis podem ser incluídos. Por exemplo, as modalidades mostradas nas figuras 2 e 3, incluem sensores dispostos em três níveis. Entretanto, apenas dois níveis podem ser

usados ou, então, mais de três níveis. Um ou mais do mesmo tipo ou de tipos diferentes de sensores podem ser dispostos em cada nível. Por exemplo, apenas três sensores (14) ou, então, mais de quatro sensores (14), podem ser dispostos em cada nível da modalidade mostrada na figura 3. Os sensores podem também ser dispostos em estruturas diferentes da tubulação lubrificadora (10). Na realidade, qualquer combinação de tipo e colocação de sensor pode ser utilizada, desde que sejam proporcionados os dados desejados.

[049] A figura 4 representa um diagrama esquemático, mostrando o princípio de transferência de carga do *tubing* em serpentina tensionado (1) para a tubulação lubrificadora (10), na entrada superior (11) da tubulação lubrificadora (10).

[050] O ângulo Θ_{CT} do *tubing* em serpentina (1) é obtido a partir do momento M_{CT} , tração T_{CT} e rigidez de dobramento EI_{CT} , como segue:

$$\theta_{CT} = M_{CT} / \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}$$

[051] As forças externas, isto é, o momento M_{CT} e a força de cisalhamento Q_{CT} sobre tubulação lubrificadora (10) são causadas pelo *tubing* em serpentina (1) e pelas cargas distribuídas causadas, por exemplo, pelas correntes de água. No caso das cargas distribuídas sobre a tubulação lubrificadora (10) serem desconsideradas, o momento no *tubing* em serpentina é dado diretamente a partir do ângulo superior da tubulação lubrificadora (10):

$$M_{CT} = \frac{2EI_L \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}}{T_{CT} \cdot l^2 + 2l \sqrt{T_{CT} EI_{CT}}} \cdot \theta_i = \frac{EI_L}{\frac{1}{2}kl^2 + l} \cdot \theta_i$$

[052] Em consequência da relação apresentada acima, a estimativa da declividade da base, Θ_{CT} , do *tubing* em serpentina (1) se fundamenta na seguinte equação:

$$\theta_{CT} = \frac{2EI_L}{T_{CT} \cdot l^2 + 2l\sqrt{T_{CT} \cdot EI_{CT}}} \cdot \theta_i = \frac{1}{\frac{1}{2}(kl)^2 + kl} \cdot \frac{EI_L}{EI_{CT}} \cdot \theta_i$$

onde:

- Θ_{CT} é o ângulo do elemento alongado tensionado na dita entrada;

- EI_{CT} é a rigidez de dobramento do elemento alongado tensionado;

- EI_L é a rigidez de dobramento do elemento de cabeça de poço;

- l é o comprimento do elemento de cabeça de poço;

- T_{CT} é a tração na direção longitudinal do elemento alongado tensionado, na dita entrada superior;

- $k = \sqrt{\frac{T_{CT}}{EI_{CT}}}$ é o fator de flexibilidade do elemento alongado tensionado; e

- Θ_i o ângulo do elemento de cabeça de poço na entrada superior do mesmo, medido direta ou indiretamente.

[053] A figura 5 representa um diagrama esquemático, mostrando o modelo de análise da tubulação lubrificadora (10), definindo os parâmetros envolvidos no modelo matemático desenvolvido para estimativa do momento de dobramento do *tubing* em serpentina (1), a partir do comportamento medido da tubulação lubrificadora (10).

[054] Para o caso geral em que as cargas externas distribuídas sobre a tubulação lubrificadora (10) não podem ser desconsideradas, dois ou mais parâmetros responsivos Θ_{zi} ($i = 1, 2, \dots$) da tubulação lubrificadora (10) são medidos direta ou indiretamente em diferentes níveis z_i , acima da extremidade inferior da tubulação lubrificadora (10) e que a estimativa da declividade da base do *tubing* em serpentina (1) é baseada em relações do seguinte tipo:

$$\mathbf{WAr} = \mathbf{W}\Theta \text{ com } \mathbf{r} = \begin{bmatrix} M_{CT} \\ \mathbf{q} \end{bmatrix}$$

onde:

- \mathbf{W} é uma adequada matriz de ponderação não-singular;
- Θ é um vetor de medições contendo parâmetros responsivos, tais como, por exemplo, declividades/inclinações ou trações/esforços ou momentos de dobramento;
- \mathbf{A} é um coeficiente matriz, correlacionando M_{CT} e \mathbf{q} à resposta medida;
- M_{CT} é o momento de dobramento do *tubing* em serpentina tensionado (1); e
- \mathbf{q} é o parâmetro que descreve a distribuição de carga lateral sobre a tubulação lubrificadora (10).

[055] Isto é adicionalmente exemplificado através de duas posições de medição, $z = z_1$ e $z = z_2$, com medições das declividades Θ_{z_1} e Θ_{z_2} e uma matriz de ponderação igual à matriz de identidade:

$$\begin{bmatrix} \theta_{z_1} \\ \theta_{z_2} \end{bmatrix}_j = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}_j \cdot \begin{bmatrix} M_{CT} \\ q_0 \end{bmatrix}_j, j=X,Y$$

em que:

$$a = \left\{ \left(l + h - \frac{z_1}{2} \right) \cdot k + 1 \right\} \frac{z_1}{EI_L}$$

$$b = \left\{ \left(l^2 - z_1 l + \frac{z_1^2}{3} \right) \cdot D_1 + h \cdot (h + 2l - z_1) \cdot D_2 \right\} \frac{z_1}{2EI_L}$$

$$c = \left\{ \left(l_2 + h - \frac{z_2}{2} \right) \cdot k + 1 \right\} \frac{z_2}{EI_L}$$

$$d = \left\{ \left(l^2 - z_2 l + \frac{z_2^2}{3} \right) \cdot D_1 + h \cdot (h + 2l - z_2) \cdot D_2 \right\} \frac{z_2}{2EI_L}$$

e, em que:

- E_{IL} representa a rigidez de dobramento da tubulação lubrificadora (10);
- D_1 representa o diâmetro da tubulação lubrificadora (10);
- D_2 representa o diâmetro da seção terminal superior (11) da tubulação lubrificadora (10);
- l é o comprimento da tubulação lubrificadora (10);
- h é o comprimento da seção terminal superior (11); e
- q_0 a carga lateral para a tubulação de diâmetro unitário.

[056] As soluções desses sistemas 2x2 são bem conhecidas:

$$\begin{bmatrix} M_{CT} \\ q_0 \end{bmatrix}_j = \frac{1}{ad - bc} \begin{bmatrix} d & -b \\ -c & a \end{bmatrix}_j \cdot \begin{bmatrix} \theta_{z_1} \\ \theta_{z_2} \end{bmatrix}_j, j=X, Y$$

[057] As declividades do *tubing* em serpentina (1) na extremidade inferior (isto é, na entrada do elemento de tubulação lubrificadora (9)) são agora fornecidas mediante inclusão da solução para o M_{CT} , a partir dessa última equação, conforme dado na equação que define a relação entre M_{CT} e Θ_{CT} , definido em conexão com a descrição da figura 4.

[058] A figura 6 representa um diagrama esquemático, mostrando o *tubing* em serpentina tensionado (1) na embarcação em uma massa e corpo de água, além de relevantes parâmetros a serem aplicados no modelo matemático do sistema.

[059] De acordo com essa modalidade da invenção, o método para monitoramento e/ou controle das cargas no *tubing* em serpentina (1) também incluem:

- medição da tração de topo T_t e, opcionalmente, do ângulo de topo α_1 do *tubing* em serpentina (1); e
- estimativa de uma posição de embarcação que minimiza o

dobramento do *tubing* em serpentina (1) na entrada do elemento de tubulação lubrificadora (10), com base na tração de topo medida e, opcionalmente, no ângulo de topo, em combinação com a declividade estimada da base, $\alpha_b = \Theta_{CT}$, do *tubing* em serpentina (1).

[060] Deve ser observado que a força de reação horizontal Q_b , na extremidade inferior do *tubing* em serpentina (1), para fins práticos, é uma soma de dois componentes, a saber:

- uma força proporcional ao deslocamento terminal superior u_v ; e
- uma força proporcional a um deslocamento generalizado causado pelas cargas externas distribuídas, por exemplo, as cargas das correntes marinhas, conforme indicado por $f(s)$ na figura 6.

[061] Para o *tubing* em serpentina suspenso e tensionado, exposto aos movimentos da embarcação e ondas, assim como às forças das correntes, ângulos de valor zero, em geral, não podem ser obtidos na extremidade inferior e extremidade superior, simultaneamente. Na maioria dos casos de cargas de correntes, não existe posição de embarcação onde os ângulos superior e inferior sejam ambos de valor zero. Entretanto, podem existir casos em que a corrente apresenta camadas de direções altamente divergentes, que levam ao cancelamento dos efeitos e a uma reduzida resposta do *tubing* em serpentina.

[062] O efeito sobre a declividade do *tubing* em serpentina, com relação à mudança em uma posição de embarcação é determinado pelas seguintes equações:

$$\begin{aligned}\text{sen } \alpha_{hv} &= \frac{K_T}{T_b} u_v \\ \text{sen } \alpha_{iv} &= \frac{K_T}{T_i} u_v\end{aligned}$$

onde:

- u_v é a mudança na posição da embarcação (2);
- T_b é a tração efetiva na extremidade de base do *tubing* em serpentina (1);
- T_t é a tração efetiva na extremidade superior do *tubing* em serpentina (1); e
- K_T é um fator de rigidez definido como:

$$K_T = \frac{1}{L} \frac{1}{\int_0^L T(s) ds}$$

onde:

- $T(S)$ é a distribuição de tração efetiva ao longo do *tubing* em serpentina (1); e
- L é o comprimento da parte suspensa do *tubing* em serpentina (1).

[063] A figura 7 representa um diagrama esquemático mostrando o princípio de superposição aplicado ao *tubing* em serpentina suspenso e tensionado, exposto ao desvio da extremidade superior e às cargas laterais distribuídas.

[064] As declividades do *tubing* em serpentina (1) próximas à entrada da tubulação lubrificadora (10), α_t , e na extremidade superior α_t , representam individualmente a soma de um termo correlacionado ao desvio, α_{bv} , α_{tv} e um termo causado pelas cargas laterais externas, tais como, correntes e ondas, α_{bf} , α_{tf} (as forças de onda e corrente por comprimento unitário são geralmente indicadas como $f(s)$ na figura 7). A parte correlacionada ao desvio das declividades, α_{bv} , α_{tv} , deve ser computada do peso próprio do *tubing* em serpentina, flutuação, tração de topo e desvio da embarcação, conforme proporcionado pelas equações acima. De modo contrário, para qualquer declividade dada (por exemplo, medida direta ou indiretamente), o

desvio requerido para produzir o ângulo em questão pode ser estimado. O desvio estimado é chamado de desvio equivalente.

[065] A figura 8 representa um diagrama esquemático mostrando a aplicação do princípio de superposição para se obter o ângulo de extremidade inferior desejado, isto é, o princípio de reposicionamento.

[066] O momento de dobramento do *tubing* em serpentina (1) na entrada do elemento de tubulação lubrificadora será de valor zero se a declividade da extremidade inferior, α_b , for zero. Nesse caso, a força lateral na extremidade superior do elemento de tubulação lubrificadora (9), causada pelo *tubing* em serpentina (1), também será zero.

[067] A posição ótima da embarcação pode ser definida em termos do vetor de reposicionamento, u_r , e desvio equivalente, u_e , computados, usando o ângulo de extremidade inferior e a relevante equação definida acima, correlacionando o ângulo de extremidade inferior e o deslocamento de extremidade de superior, o vetor de reposicionamento é obtido como vetor de desvio equivalente, girado de 180°.

[068] O reposicionamento da embarcação usando o vetor de reposicionamento estimado irá proporcionar as mínimas declividades na extremidade inferior do *tubing* em serpentina, para a tração de topo da corrente e condições reais do ambiente.

[069] A figura 9 representa um diagrama esquemático indicando como obter os ângulos de extremidade inferior e superior, os quais, respectivamente, são obtidos para o *tubing* em serpentina (1) submetido à cargas lateralmente, mediante aplicação de deslocamento da extremidade superior, quando nenhuma carga lateral estiver presente.

[070] O deslocamento da extremidade superior, u_b e u_t , pode ser computado a partir de cada das equações acima, respectivamente. Para o *tubing* em serpentina suspenso e tensionado, com ação de carga lateral, o

deslocamento de extremidade superior, u_b , computado usando o ângulo de extremidade inferior, α_b , seria geralmente diferente do deslocamento de extremidade superior, u_t , computado usando o ângulo de extremidade superior, α_t .

[071] Entretanto, ao se introduzir a condição de que os dois estimados deslocamentos de extremidade superior devem ser iguais, um deslocamento de extremidade superior equivalente ou desvio equivalente podem ser computados, usando um método de mínimos quadrados. Ao introduzir fatores de ponderação dentro da solução de mínimos quadrados, pode ser identificado um desvio equivalente ponderado. A nova posição da embarcação pode então ser definida em termos do vetor de reposicionamento. O vetor de reposicionamento é o vetor que irá cancelar o desvio equivalente ponderado, quando aplicado relativamente à posição da embarcação presente. O vetor de reposicionamento é simplesmente a magnitude do desvio equivalente ponderado, com o ângulo azimutal girado de 180° .

[072] O reposicionamento da embarcação usando o vetor de reposicionamento, irá proporcionar a possibilidade de obtenção de mínimas declividades nas extremidades inferior e superior do *tubing* em serpentina, para os escolhidos fatores de peso, tração de topo e reais condições ambientais.

[073] De acordo com uma modalidade preferida da invenção, a estimativa da posição preferida de embarcação em relação à presente posição da embarcação, em um sistema de coordenadas com eixos horizontais X e Y, se baseia na seguinte:

$$\mathbf{W} \begin{bmatrix} \frac{K_T}{T_b} & 0 \\ 0 & -\frac{K_t}{T_b} \\ \frac{K_t}{T_t} & 0 \\ 0 & -\frac{K_T}{T_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix} = \mathbf{W} \begin{bmatrix} \text{sen}\alpha_{mb}^{zx} \\ \text{sen}\alpha_{mb}^{zy} \\ \text{sen}\alpha_{mt}^{zx} \\ \text{sen}\alpha_{mt}^{zy} \end{bmatrix}$$

onde:

- W é uma adequada matriz de ponderação não-singular;

$$-K_T = \frac{1}{\int_0^L \frac{ds}{T(s)}} ; \text{ e}$$

$$\text{sen}\alpha_{mb}^{zx} \cong \text{sen}\alpha_{mb} \cos(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = \frac{K_t}{T_b} u_v \cdot \cos(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = \frac{K_t}{T_b} x_b$$

$$\text{sen}\alpha_{mb}^{zy} \cong \text{sen}\alpha_{mb} \text{sen}(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = -\frac{K_T}{T_b} u_v \cdot \text{sen}(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = -\frac{K_t}{T_b} y_b$$

$$\text{sen}\alpha_{mt}^{zx} \cong \text{sen}\alpha_{mt} \cos(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = \frac{K_T}{T_t} u_v \cdot \cos(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = \frac{K_T}{T_t} x_t$$

$$\text{sen}\alpha_{mt}^{zy} \cong \text{sen}\alpha_{mt} \text{sen}(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = -\frac{K_T}{T_t} u_v \cdot \text{sen}(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = -\frac{K_t}{T_t} y_t$$

onde x_b, y_b, x_t, y_t são as coordenadas Cartesianas das estimativas de desvio correlacionadas às declividades de extremidade inferior e superior simultaneamente medidas (direta ou indiretamente), respectivamente dadas no sistema de coordenadas de interpretação de medição $X_k-Y_k-Z_k$ ($k=mb, mt$), e dada a condição de que:

$$x_e = w_{xb} \cdot x_b = w_{xt} \cdot x_t$$

$$y_e = w_{yb} \cdot y_b = w_{yt} \cdot y_t$$

onde $w_{xb}, w_{yb}, w_{xt}, w_{yt}$ são ponderações correlacionadas aos elementos da matriz de ponderação não-singular, W.

[074] A posição ótima da embarcação é obtida movendo-se a embarcação de uma distância:

$$\Delta u = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

na direção:

$$\psi = \text{atan}\left(\frac{\Delta y}{\Delta x}\right)$$

onde ψ é medido em radianos, no sentido anti-horário em relação ao eixo X do sistema coordenado de medição e com:

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = -\begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix}$$

[075] As declividades do *tubing* em serpentina, da extremidade da base e superior, α_b , α_t , são parcialmente controladas pela posição e tração da plataforma. Para uma tração inicialmente alta, a mudança de posição é muito mais eficiente que a mudança de tração, com relação à minimização das declividades. Entretanto, na extremidade inferior, onde a tração pode ser relativamente baixa se comparada à tração de topo, a mudança da tração de topo pode ser eficiente para ajustar o ângulo para o valor de zero. Quando uma redução ou aumento são aplicados, os mesmos podem ser determinados usando a seguinte equação:

$$\alpha_b \cong \text{sen } \alpha_b = \frac{K_T (u_v + u_{bf})}{T_b \cos \beta_b} = \frac{K_T v_{bf}}{T_b \sin \beta_b}$$

desde que o desvio da embarcação u_v seja conhecido. De qualquer modo, a mudança na tração irá influenciar apenas a parte da declividade que é provocada pelas cargas das ondas, correntes marinhas e peso aparente do *tuning* em serpentina, não influenciando o componente provocado pelo desvio da extremidade superior.

[076] Logicamente, a invenção não é, de nenhum modo, limitada às modalidades preferidas acima descritas. Ao contrário, muitas possibilidades para modificações da mesma se tornarão evidentes para um especialista

versado na técnica, sem que seja afastada a ideia básica da invenção, tal como, definida pelas reivindicações anexas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de monitoramento e/ou controle de uma carga em um elemento delgado, alongado e tensionado, que se estende a partir de um elemento de cabeça de poço submarina (3) para uma embarcação de superfície (2), em que o elemento alongado tensionado (1) é disposto de modo a ser deslocado na sua direção longitudinal, dentro ou fora do elemento de cabeça de poço submarina (3), através de uma entrada em uma extremidade superior deste último, caracterizado pelo fato de compreender as etapas de:

- medir o comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3); e

- estimar o momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado (1) em uma região de base adjacente à e/ou na dita entrada com base na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3).

2. Método, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado pelo fato de que a medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3) compreende a etapa de:

- medir, direta ou indiretamente, a inclinação, declividade ou momento de dobramento do elemento de cabeça de poço (3).

3. Método, de acordo com a reivindicação 2, caracterizado pelo fato de que a inclinação/declividade da entrada de extremidade superior do elemento de cabeça de poço (3) é medida diretamente ou é derivada das medições responsivas correlacionadas à inclinação/declividade da entrada de extremidade superior (11).

4. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que a estimativa da declividade da base do elemento alongado tensionado se baseia na seguinte equação:

$$\theta_{CT} = \frac{2EI_L}{T_{CT} \cdot l^2 + 2l\sqrt{T_{CT} \cdot EI_{CT}}} \cdot \theta_l = \frac{1}{\frac{1}{2}(kl)^2 + kl} \cdot \frac{EI_L}{EI_{CT}} \cdot \theta$$

onde:

- θ_{CT} é o ângulo do elemento alongado tensionado na dita entrada (11);

- EI_{CT} é a rigidez de dobramento do elemento alongado tensionado (1);

- EI_L é a rigidez de dobramento do elemento de cabeça de poço (3);

- l é o comprimento do elemento de cabeça de poço (3);

- T_{CT} é a tração na direção longitudinal do elemento alongado tensionado (1), na dita entrada superior (11);

$$- k = \sqrt{\frac{T_{CT}}{EI_{CT}}}$$

é o fator de flexibilidade do elemento alongado tensionado (1); e

- θ_l o ângulo do elemento de cabeça de poço (3) na entrada superior (11) do mesmo, medido direta ou indiretamente.

5. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que dois ou mais parâmetros responsivos θ_{zi} do elemento de cabeça de poço (3) são medidos em diferentes níveis (z_i), acima da extremidade inferior do elemento de cabeça de poço (3) e que a estimativa da declividade da base do elemento alongado tensionado (1) é baseada em relações do seguinte tipo:

$$\mathbf{WAr} = \mathbf{W}\Theta \text{ com } \mathbf{r} = \begin{bmatrix} M_{CT} \\ q \end{bmatrix}$$

onde:

- W é uma adequada matriz de ponderação não-singular;

- Θ é um vetor de medições contendo parâmetros responsivos, tais como, por exemplo, declividades/inclinações ou trações/esforços ou momentos

de dobramento;

- **A** é um coeficiente matriz, correlacionando M_{CT} e q à resposta medida;

- M_{CT} é o momento de dobramento do elemento alongado (1); e

- **q** é o parâmetro que descreve a distribuição de carga lateral sobre o elemento de cabeça de poço (3).

6. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende ainda as etapas de:

- medição da tração de topo do elemento alongado tensionado (1);

e

- estimativa de uma posição de embarcação (2) que minimiza o dobramento do elemento alongado tensionado (1) na entrada da cabeça de poço (3), com base na tração de topo medida, em combinação com a declividade estimada da base do elemento alongado tensionado (1).

7. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 5, caracterizado pelo fato de que o dito método compreende ainda as etapas de:

- medição da tração de topo do elemento alongado tensionado (1) e do ângulo de topo do elemento alongado tensionado (1); e

- estimativa de uma posição de embarcação (2) que minimiza o dobramento do elemento alongado tensionado (1) na entrada da cabeça de poço (3), com base na tração de topo e ângulo de topo medidos, em combinação com a declividade estimada da base do elemento alongado tensionado (1).

8. Método, de acordo com qualquer uma das reivindicações 6 a 7, caracterizado pelo fato de que a estimativa da posição de embarcação (2) preferida, em relação à presente posição de embarcação (2), em um sistema coordenado com eixos horizontal e ortogonal X e Y, se baseia na seguinte

relação:

$$\mathbf{W} \begin{bmatrix} \frac{K_T}{T_b} & 0 \\ 0 & -\frac{K_t}{T_b} \\ \frac{K_t}{T_t} & 0 \\ 0 & -\frac{K_T}{T_t} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_e \\ y_e \end{bmatrix} = \mathbf{W} \begin{bmatrix} \text{sen}\alpha_{mb}^{zx} \\ \text{sen}\alpha_{mb}^{zy} \\ \text{sen}\alpha_{mt}^{zx} \\ \text{sen}\alpha_{mt}^{zy} \end{bmatrix}$$

onde:

- W é uma adequada matriz de ponderação não-singular;

$$- K_T = \frac{1}{L \int_0^L \frac{ds}{T(s)}} ; \text{ e}$$

$$\text{sen}\alpha_{mb}^{zx} \cong \text{sen}\alpha_{mb} \cos(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = \frac{K_t}{T_h} u_v \cdot \cos(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = \frac{K_t}{T_b} x_b$$

$$\text{sen}\alpha_{mb}^{zy} \cong \text{sen}\alpha_{mb} \text{sen}(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = -\frac{K_T}{T_h} u_v \cdot \text{sen}(\beta_{mb} - \gamma_{mb}) = -\frac{K_t}{T_b} y_b$$

$$\text{sen}\alpha_{mt}^{zx} \cong \text{sen}\alpha_{mt} \cos(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = \frac{K_T}{T_t} u_v \cdot \cos(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = \frac{K_T}{T_t} x_t$$

$$\text{sen}\alpha_{mt}^{zy} \cong \text{sen}\alpha_{mt} \text{sen}(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = -\frac{K_T}{T_t} u_v \cdot \text{sen}(\beta_{mt} - \gamma_{mt}) = -\frac{K_t}{T_t} y_t$$

onde x_b, y_b, x_t, y_t são as coordenadas Cartesianas das estimativas de desvio correlacionadas às declividades de extremidade inferior e superior simultaneamente medidas (direta ou indiretamente), respectivamente dadas no sistema de coordenadas de interpretação de medição $X_k-Y_k-Z_k$ ($k=mb, mt$), e dada a condição de que:

$$x_e = w_{xb} \cdot x_b = w_{xt} \cdot x_t$$

$$y_e = w_{yb} \cdot y_b = w_{yt} \cdot y_t$$

onde $w_{xb}, w_{yb}, w_{xt}, w_{yt}$ são ponderações correlacionadas aos elementos da matriz de ponderação não-singular W.

9. Dispositivo para monitoramento e/ou controle de uma carga em um elemento delgado, alongado e tensionado, que se estende a partir de um

elemento de cabeça de poço submarina (3) para uma embarcação (2) de superfície, pelo que o elemento alongado tensionado (1) é disposto de modo a ser deslocado na sua direção longitudinal, dentro ou fora do elemento de cabeça de poço submarina (3), através de uma entrada em uma extremidade superior deste último, caracterizado pelo fato de que o dito dispositivo compreende:

- meios para medir o comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço, e

- meios para estimar o momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado (1) em uma região de base adjacente à e/ou na dita entrada, com base na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3).

10. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de compreender primeiros meios para medir o comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3), em que esses primeiros meios compreendem um ou mais inclinômetros (13), que se dispõem sobre o elemento de cabeça de poço (3).

11. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 9, caracterizado pelo fato de compreender primeiros meios para medir o comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3), em que esses primeiros meios compreendem um ou mais dispositivos que realizam a medição de tensões, esforços e/ou momentos, de modo que são dispostos no elemento de cabeça de poço (3) um ou mais calibradores de tensão.

12. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 10, caracterizado pelo fato de que os ditos primeiros meios se dispõem na parte superior do elemento de cabeça de poço (3).

13. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 11, caracterizado pelo fato de que os ditos primeiros meios são distribuídos em torno do perímetro, em um ou mais níveis do elemento de cabeça de poço (3).

14. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 11 e 13, caracterizado pelo fato de que os ditos primeiros meios são dispostos na parte inferior do elemento de cabeça de poço (3).

15. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 14, caracterizado pelo fato de compreender segundos meios para medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3), ditos segundos meios sendo dispostos em um nível diferente daquele dos ditos primeiros meios, para medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3).

16. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 15, caracterizado pelo fato de que os segundos meios para medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3) compreendem um inclinômetro (13) ou um dispositivo que mede tensões, esforços ou momento (14).

17. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 15 a 16, caracterizado pelo fato de que os ditos segundos meios são distribuídos em torno do perímetro, em um ou mais níveis do elemento de cabeça de poço (3).

18. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 17, caracterizado pelo fato de que os meios para estimar o momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado (1) em uma região de base adjacente à e/ou na dita entrada, com base na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3), compreendem uma mídia legível por computador, com meios para executar a estimativa, de acordo com o método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 1, 4 e 5.

19. Dispositivo, de acordo com qualquer uma das reivindicações 9 a 18, caracterizado pelo fato de compreender meios para estimar uma posição de embarcação (2) que minimiza o dobramento do elemento alongado tensionado (1) na entrada do elemento de cabeça de poço (3), com base na

tração de topo medida e, opcionalmente, no ângulo de topo medido, em combinação com a estimada declividade da base do elemento alongado tensionado (1).

20. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 19, caracterizado pelo fato de que os meios para estimar a posição da embarcação (2) compreendem uma mídia legível por computador, com meios para executar a estimativa, de acordo o método conforme definido em qualquer uma das reivindicações 6 a 8.

43/2

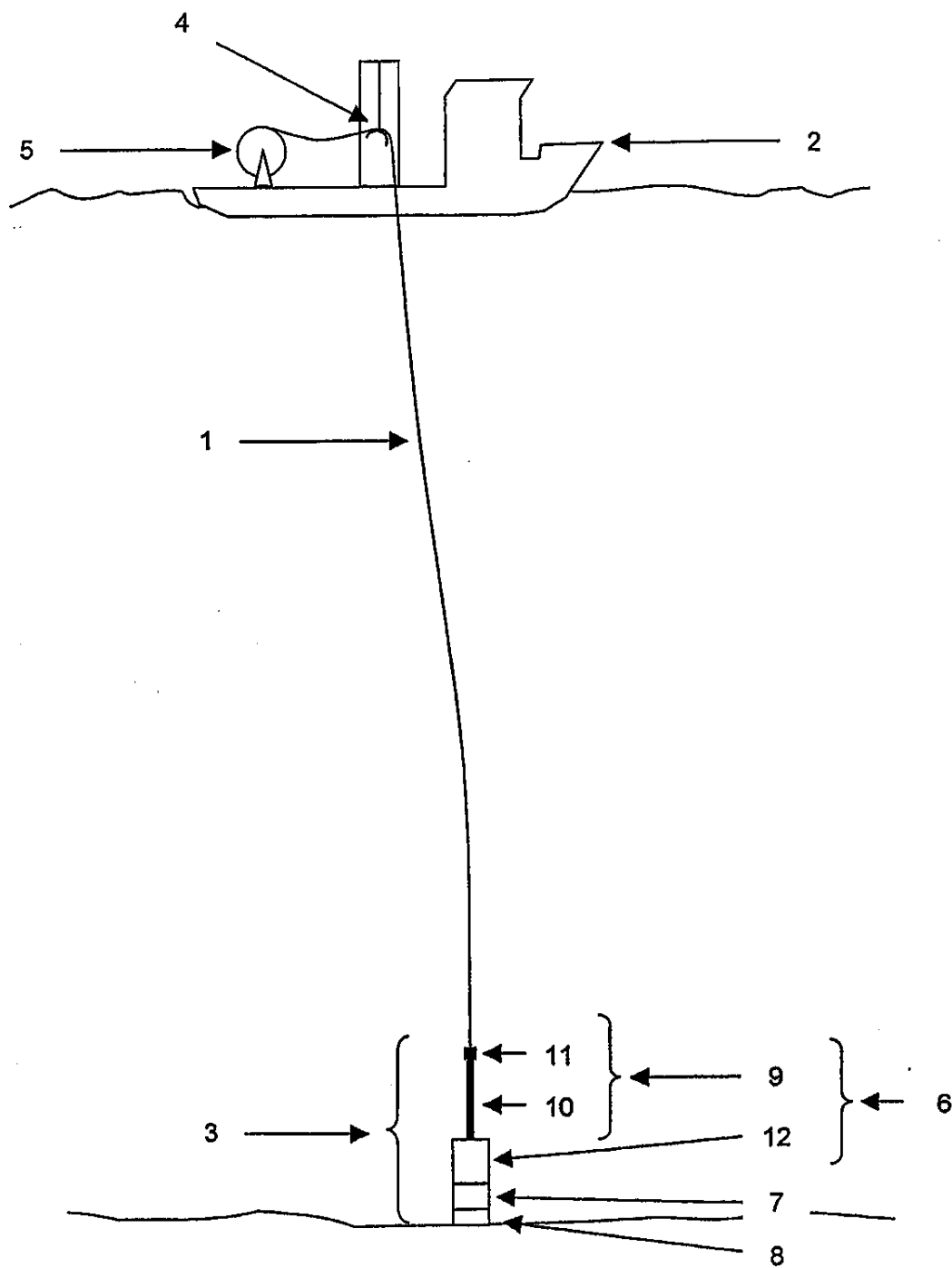


Fig. 1

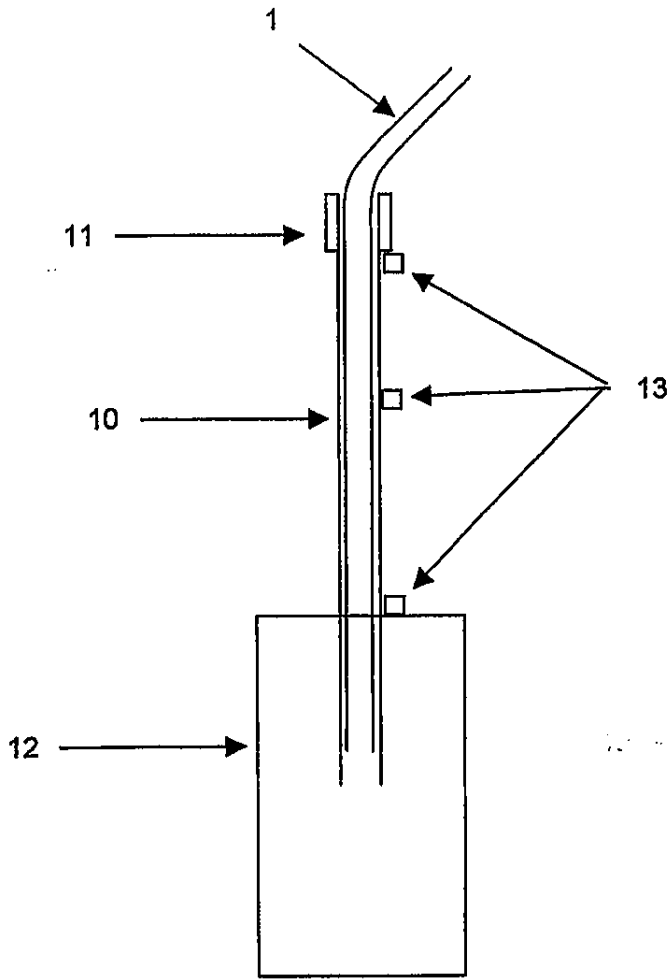


Fig. 2

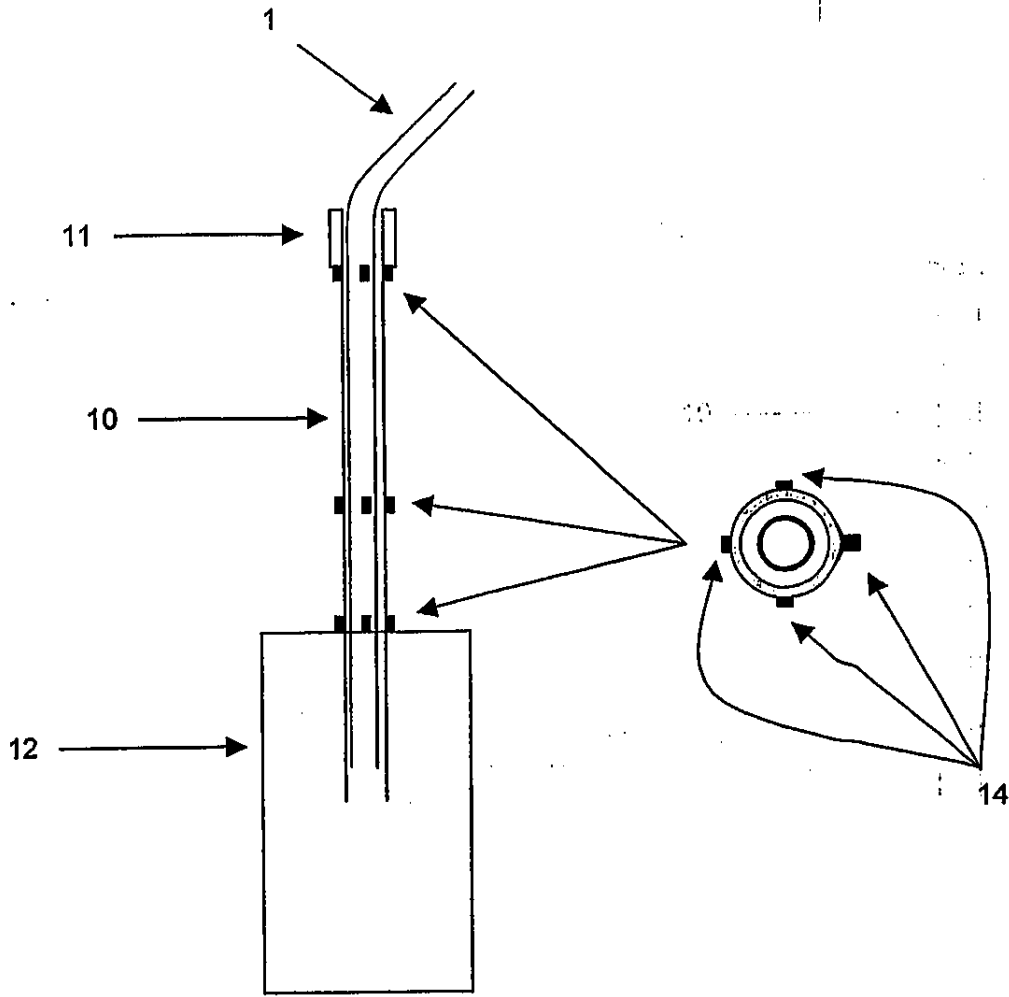


Fig. 3

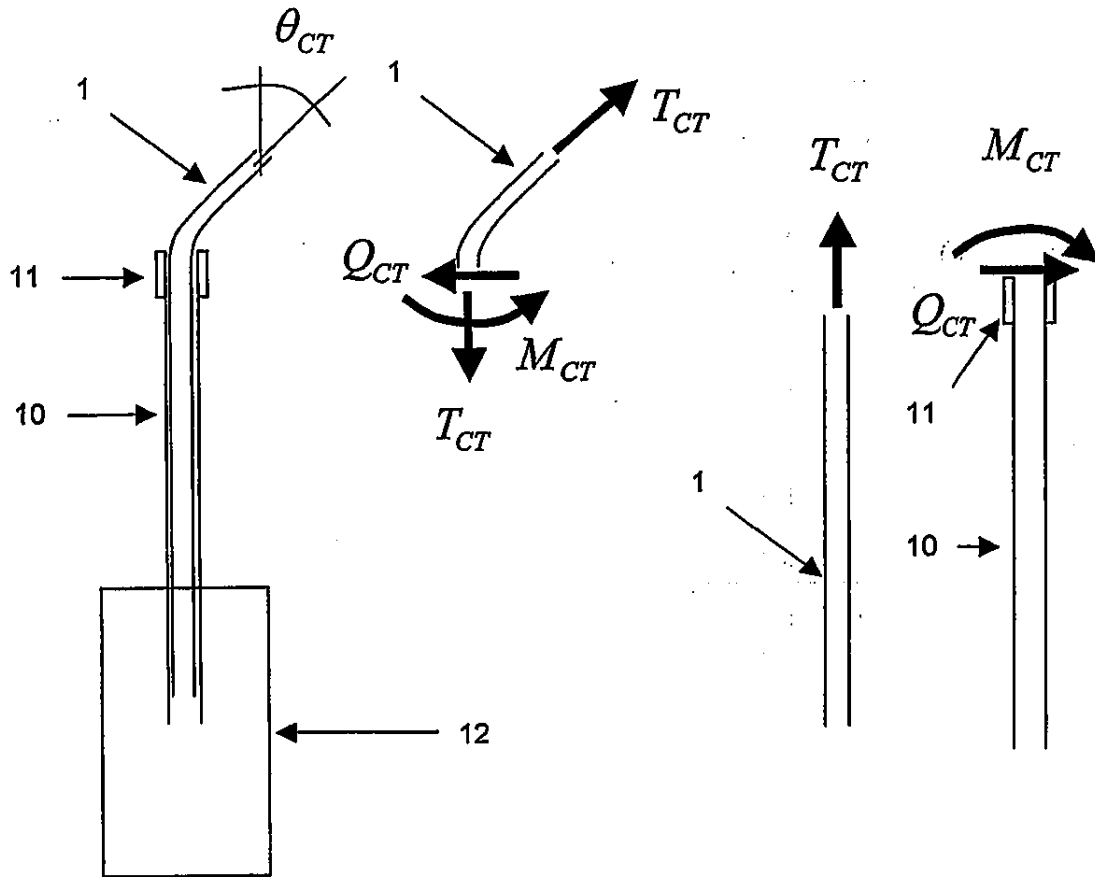


Fig. 4

Handwritten signature

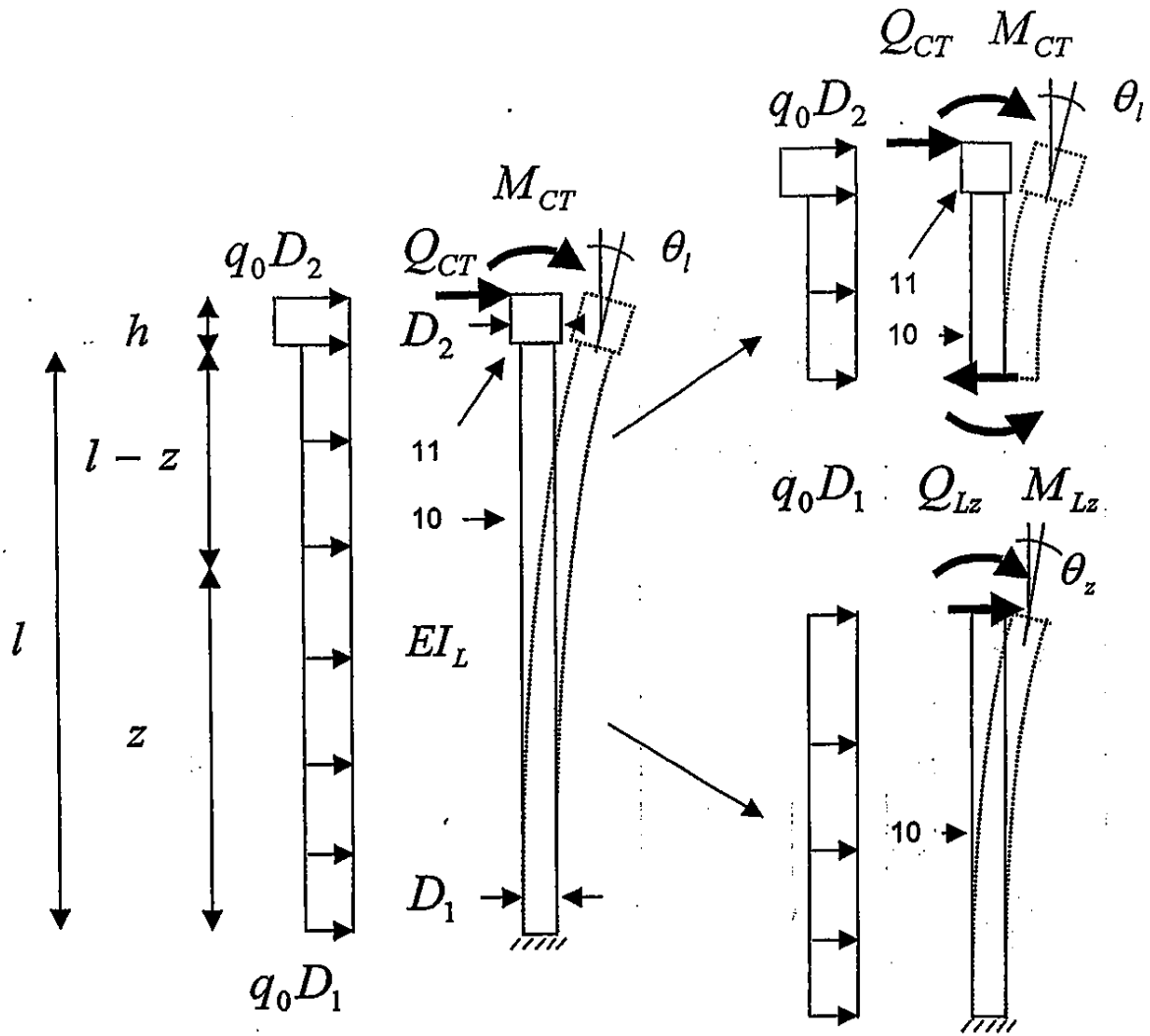


Fig. 5

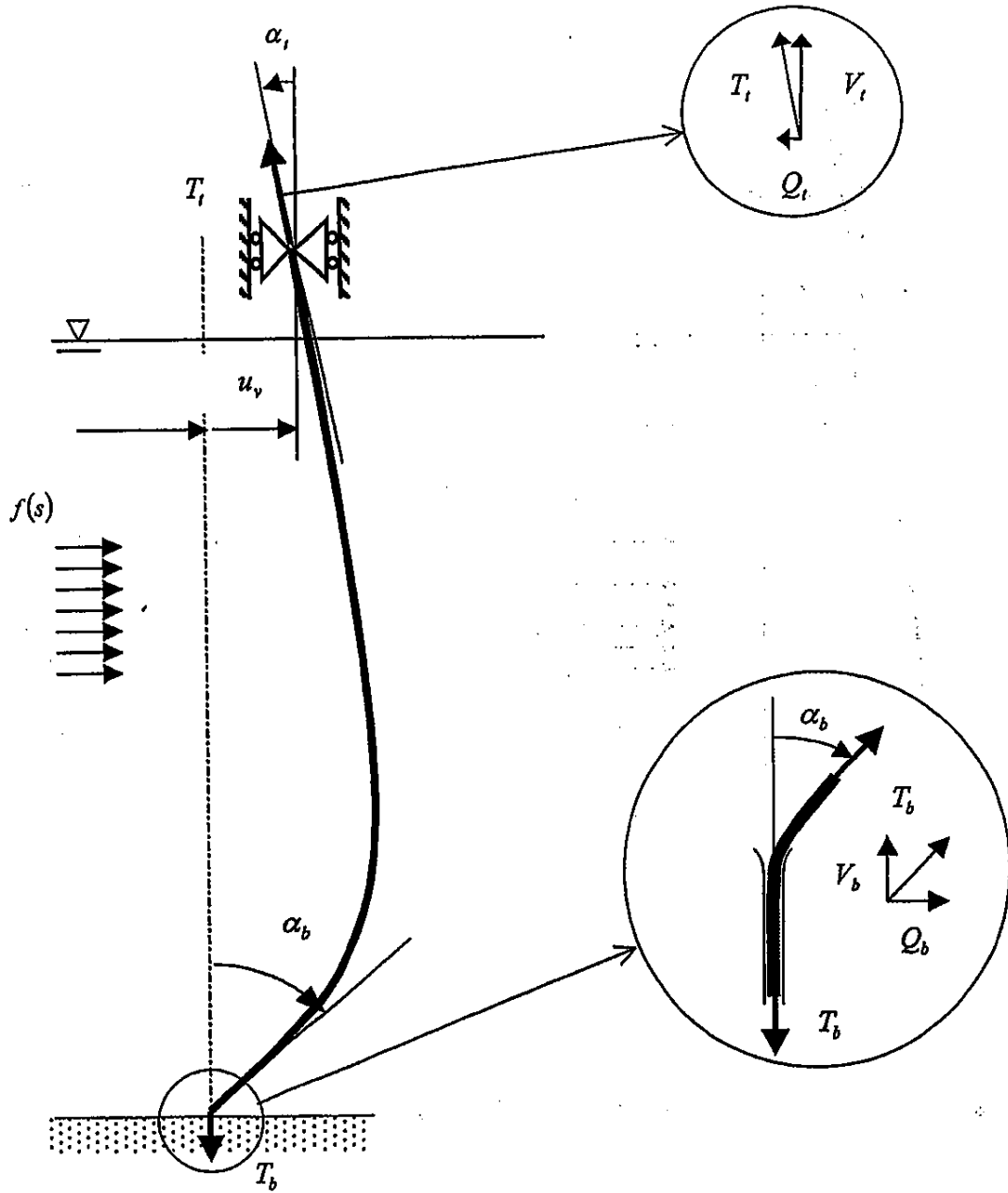


Fig. 6

99

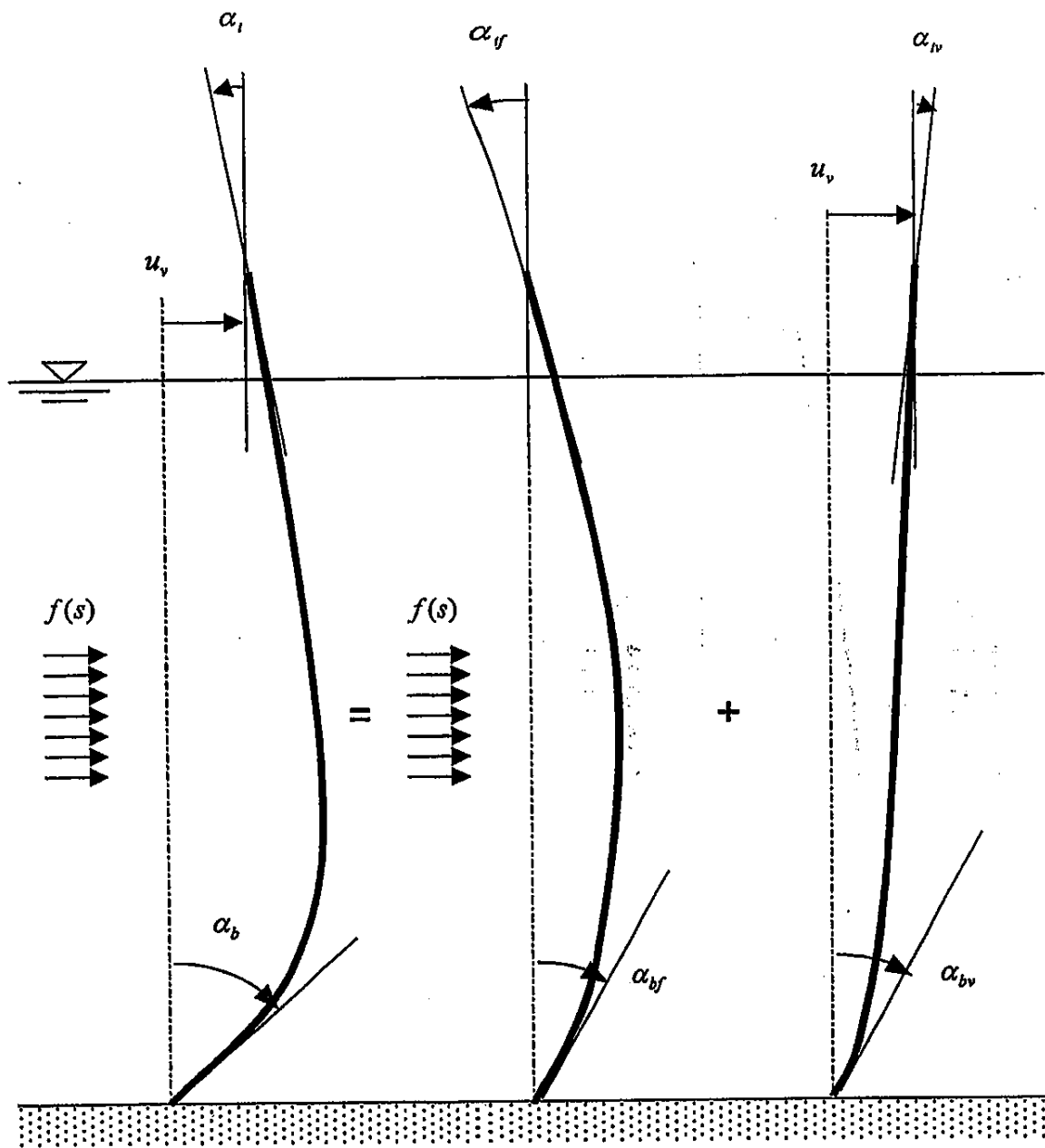


Fig. 7

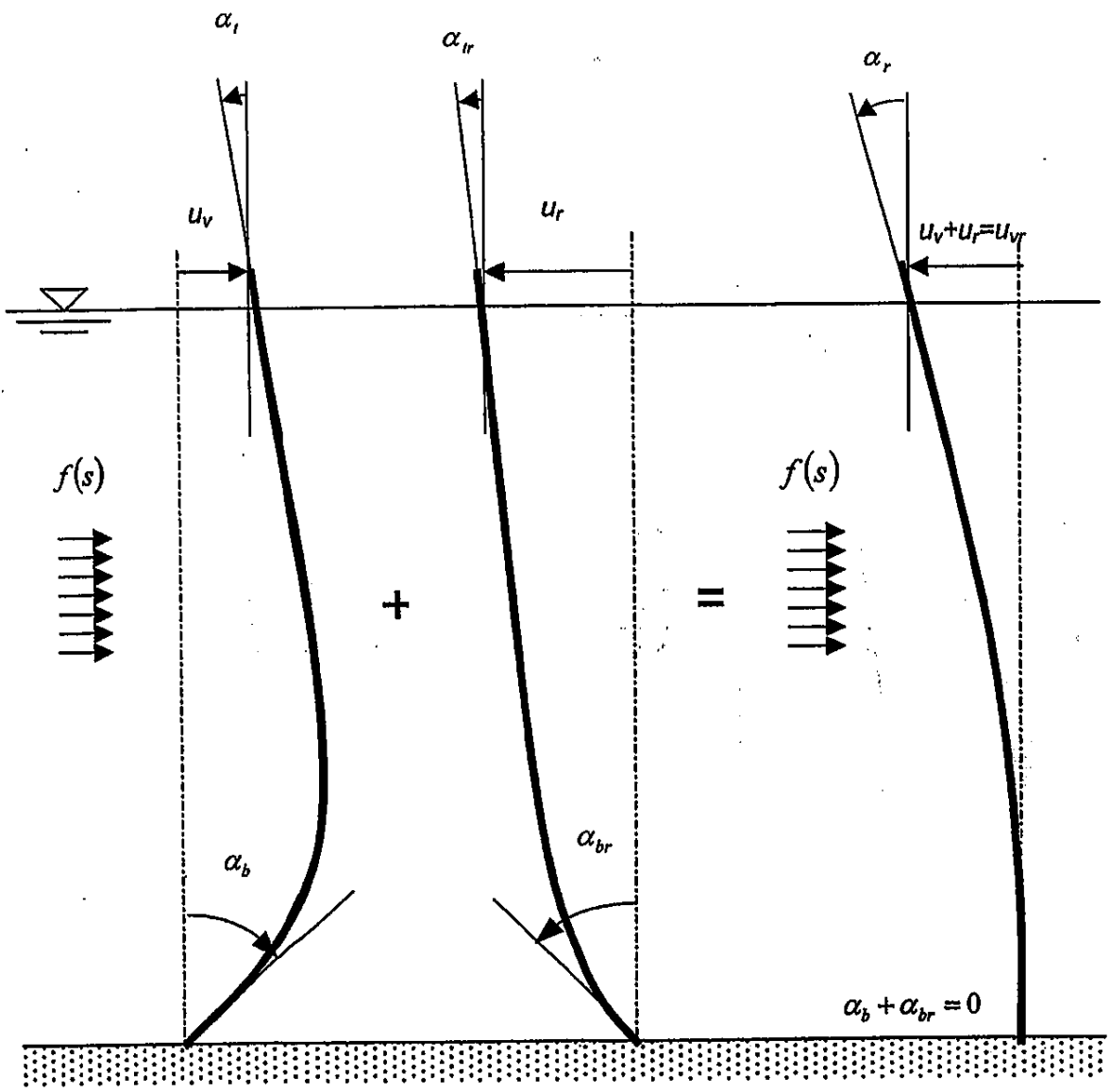


Fig. 8

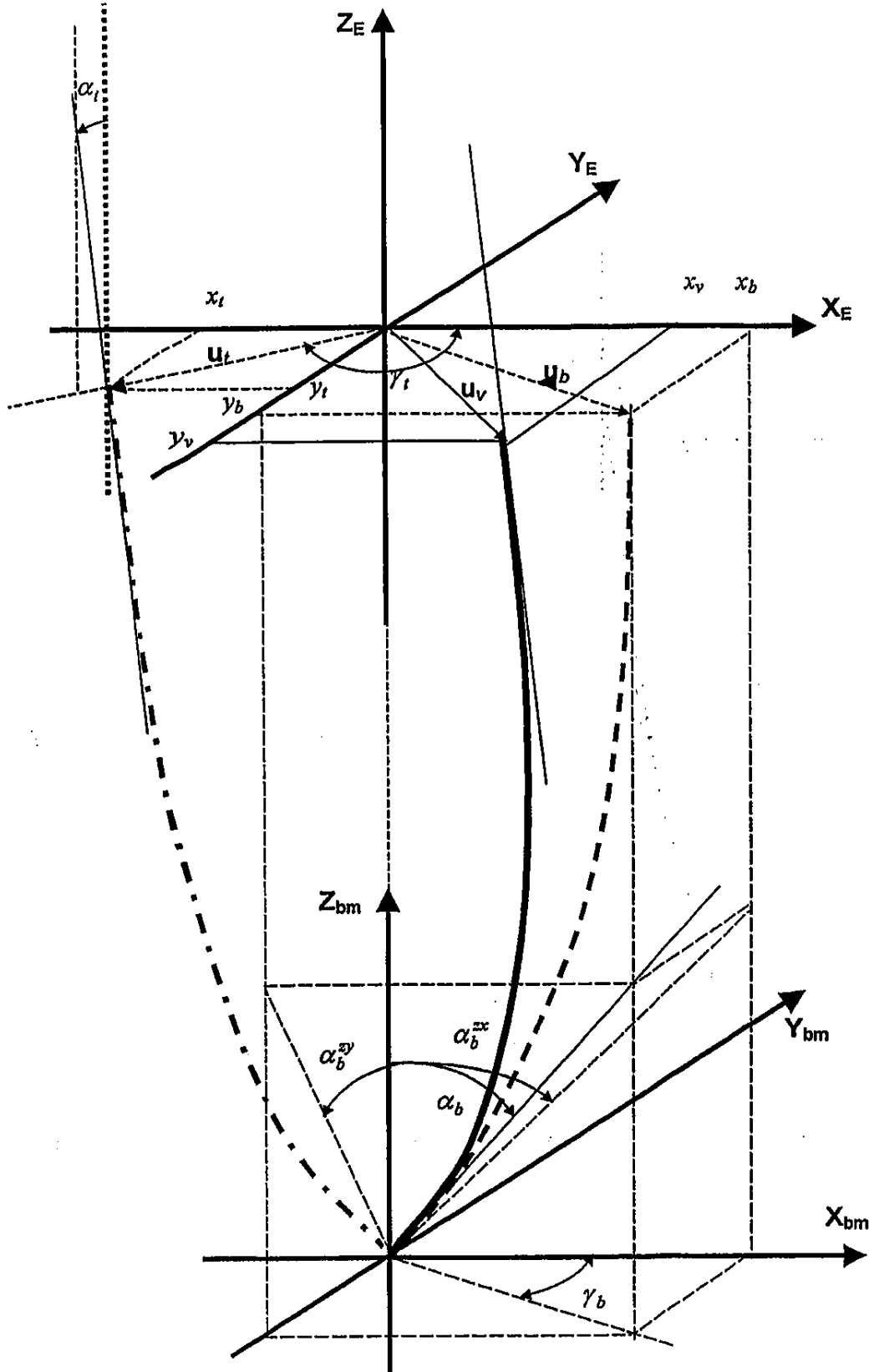


Fig. 9

RESUMO**“MÉTODO E DISPOSITIVO DE MONITORAMENTO E/OU CONTROLE DE
UMA CARGA EM UM ELEMENTO DELGADO”**

A presente invenção refere-se a um método e dispositivo para monitorar e/ou controlar uma carga em um elemento delgado, alongado e tensionado, que se estende a partir de um elemento de cabeça de poço submarina (3) para uma embarcação de superfície (2), pelo que o elemento alongado tensionado (1) é disposto de modo a ser deslocado na sua direção longitudinal, dentro ou fora do elemento de cabeça de poço submarina (3), através de uma entrada em uma extremidade superior deste último. O método compreende as etapas de:

- medir o comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3); e

- estimar o momento de dobramento e/ou declividade do elemento alongado tensionado (1) em uma região de base adjacente à e/ou na dita entrada. com base na medição do comportamento estrutural do elemento de cabeça de poço (3).

A invenção também se refere a um correspondente dispositivo.