



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

(11) PI 0801011-0 B1



(22) Data do Depósito: 07/04/2008

(45) Data de Concessão: 12/02/2019

(54) Título: SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE UMA TUBULAÇÃO FLEXÍVEL SUBMARINA ASCENDENTE E MÉTODO

(51) Int.Cl.: E21B 44/00.

(73) Titular(es): PETROLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS.

(72) Inventor(es): JOÃO MÁRCIO DE CASTILHO SANTOS; GUSTAVO PINTO PIRES; DANIEL RODRIGUES PIPA; SÉRGIO RICARDO KOKAY MORIKAWA; CLAUDIO SOLIGO CAMERINI; ARTHUR MARTINS BARBOSA BRAGA; ROBERTH WALDO ÂNGULO LLERENA.

(57) Resumo: SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE UMA TUBULAÇÃO FLEXÍVEL SUBMARINA ASCENDENTE E MÉTODO É descrito um sistema para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente por meio de sensores do tipo extensômetros de fibra óptica instalados nos arames da camada externa de tração desse tipo de tubulação na região interna dos conectores em uma unidade marítima flutuante. Esse sistema aplicado de acordo com um método associado é capaz de detectar variações na deformação longitudinal e possíveis rupturas em cada arame da camada externa de tração de uma tubulação flexível submarina ascendente.

SISTEMA PARA MONITORAÇÃO DA INTEGRIDADE ESTRUTURAL DE UMA TUBULAÇÃO FLEXÍVEL SUBMARINA ASCENDENTE E MÉTODO CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção está inserida no campo dos sistemas para
5 monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina
ascendente. Mais especificamente, a presente invenção descreve um
sistema de monitoração por meio de sensores do tipo extensômetros de
fibra óptica instalados nos arames da camada externa de tração de uma
tubulação flexível submarina ascendente na região interna dos conectores
10 em uma unidade marítima flutuante, utilizada na produção de petróleo.

FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO

A produção de petróleo em águas profundas utiliza em larga escala
tubulação flexível submarina ascendente, conhecida pelos especialistas
pela denominação na língua inglesa “riser”. Esta tubulação transporta o
15 petróleo produzido pelo poço submarino até uma unidade marítima
flutuante, também denominada plataforma, e daí para navios-tanque ou
diretamente para instalações em terra.

A tubulação flexível submarina ascendente possui vantagens em
relação a outras soluções conhecidas pelos especialistas, em especial sua
20 grande versatilidade de uso. No entanto, à medida que a produção de
petróleo ocorre em águas progressivamente mais profundas, essa
tubulação sofre esforços crescentes na região de seus conectores com a
unidade marítima flutuante. Nesta região a tubulação passa por um ponto
de acentuada transição quanto à rigidez – muita flexibilidade antes do
25 conector e muita rigidez no conector. Além disso, devido à grande
profundidade da lâmina d’água, a carga de peso próprio é muito alta nesta
conexão. Devido a esses fatores, ocorrem falhas na conexão da tubulação
flexível submarina ascendente, as quais constituem o principal problema
de integridade estrutural do sistema de produção.

30 A ocorrência de tais falhas, que podem levar à ruptura dessa tubula-

ção, interrompe a produção e traz altos riscos de acidentes materiais e humanos.

O principal mecanismo de falha desta conexão ocorre pelo rompimento seqüencial dos arames das camadas de tração. Esse rompimento é devido principalmente aos esforços cíclicos, a ação de agentes corrosivos e muitas vezes associado a problemas de montagem. Quanto maior a quantidade de arames rompidos, maior é a probabilidade de falha nesta conexão podendo, em muitos casos, levar à ruptura da tubulação flexível submarina ascendente.

10 A monitoração da tubulação flexível submarina ascendente na região dos conectores em uma unidade marítima flutuante é prática comum entre os técnicos da área além de constar do padrão **API 17B** estabelecida pelo **American Petroleum Institute** sob o título "**Recommended Practice for Flexible Pipe**".

15 O estado da técnica também é repleto de sistemas para fazer esse tipo de monitoração. A patente norte-americana **US 7,296,480** descreve um dispositivo para monitorar a integridade de tubulações flexíveis usadas no transporte de fluidos pressurizados próximo ao conector da unidade marítima flutuante. Esse dispositivo detecta um aumento na torção na tubulação por meio da monitoração do fenômeno associado à falha da camada de tração desse tipo de tubulação causado pela ruptura de inúmeros arames próximos aos conectores da unidade marítima flutuante. Opcionalmente, a citada patente descreve a utilização desse dispositivo em conjunto com um segundo dispositivo para detectar a liberação excessiva de gás da parte interna da tubulação flexível submarina ascendente. Tal liberação de gás ocorre em função da deterioração de camadas internas de proteção da tubulação. Neste documento os sensores são aplicados externamente ao duto, necessitando que efeitos indiretos da ruptura dos arames atuem na capa externa para que então seja identificado o problema de ruptura de arames. Não raro, a ruptura dos

20
25
30

arames não gera estes efeitos indiretos, dando pouca efetividade à referida patente.

Outro exemplo de um sistema para a monitoração de tubulações é descrito na patente norte-americana **US 7,268,541**. O sistema proposto por essa patente mede propriedades magnéticas dos arames da camada de tração que mudam de acordo com a variação das tensões aplicadas à tubulação flexível, gerando conseqüentemente um efeito de detecção quando ocorre a ruptura. Esse sistema é fixado externamente à tubulação, sendo susceptível a diversos problemas de manutenção, além de ter um custo relativamente alto.

Uma característica comum aos documentos citados anteriormente é a forma indireta de identificar a ruptura de arames da camada de tração, isto é, esses sistemas são capazes de identificar apenas os efeitos causados pela ruptura dos arames, e não a ruptura em si. Em muitos casos, este tipo de solução é pouco eficaz, pois efeitos como a torção só são identificados após a ruptura de diversos arames da camada de tração.

SUMÁRIO DA INVENÇÃO

O sistema para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente, objeto da presente invenção, capaz de detectar variações na deformação longitudinal e possíveis rupturas em cada arame da camada externa de tração desse tipo de tubulação, na região interna dos conectores em uma unidade marítima flutuante, compreende:

- a) um arranjo de sensores com pelo menos um sensor fixado em cada arame da camada externa de tração;
- b) um módulo de processamento de dados para a emissão de sinais ao arranjo de sensores, e para a recepção e o tratamento dos sinais captados pelo arranjo de sensores;
- c) um meio para transmitir os sinais emitidos pelo módulo de processamento de dados até o arranjo de sensores, e para

70

receber os sinais captados pelo arranjo de sensores até o módulo de processamento de dados.

O sistema descrito na presente invenção tem como vantagem a alta sensibilidade, uma vez que monitora individualmente todos os arames da
5 camada externa de tração de tubulações flexíveis submarinas ascendentes. O sistema quantifica com extrema exatidão o número de arames rompidos, além de indicar o momento do rompimento de cada um desses arames, facilitando o planejamento e os procedimentos de manutenção. Como a maior parte do sistema está imerso no interior do
10 conector, seus componentes são protegidos, diminuindo os problemas com manutenção da instrumentação de medição.

77

BREVE DESCRIÇÃO DOS DESENHOS

As características do sistema para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente, objeto da
15 presente invenção, serão melhor percebidas a partir da descrição detalhada que se fará a seguir, a mero título de exemplo, associada aos desenhos abaixo referenciados, os quais são parte integrante do presente relatório.

A **FIGURA 1** anexa ilustra a representação de uma concretização preferida para o sistema para monitoração da integridade estrutural de
20 uma tubulação flexível submarina ascendente.

A **FIGURA 2A** anexa ilustra a representação ampliada da Região A da FIGURA 1, evidenciando em detalhe sensores fixados e dispostos de forma longitudinal em cada arame da camada externa de tração de uma
25 tubulação flexível submarina ascendente.

A **FIGURA 2B** anexa ilustra a representação ampliada da Região A da FIGURA 1, evidenciando em detalhe sensores fixados e dispostos de forma transversal em cada arame da camada externa de tração de uma tubulação flexível submarina ascendente.

30 A **FIGURA 3** anexa ilustra a representação de uma concretização

alternativa para o sistema para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente.

DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

5 Tubulações flexíveis submarinas ascendentes têm suas extremidades conectadas a uma unidade marítima flutuante na superfície, por meio de conectores específicos. Quando em operação, os arames das camadas de tração estão submetidos a um carregamento de tração e estão atuando conforme projeto e dando sustentabilidade a essa tubulação. Mas, com a ação de fatores como esforços cíclicos e a
10 exposição a agentes corrosivos, eventualmente esses arames se rompem. A probabilidade da ocorrência desse tipo de falha é maior na região desses conectores.

Atualmente, as técnicas utilizadas para a monitoração da ruptura dos arames da camada de tração de tubulações flexíveis submarinas ascendentes se baseiam na detecção de efeitos indiretos como a torção desse tipo de tubulação. O sistema proposto na presente invenção apresenta uma evolução na monitoração da integridade estrutural desse tipo de tubulação, pois mede diretamente o estado de tensão longitudinal de cada arame da camada externa de tração. Dessa forma, esse sistema
15 permite identificar a ocorrência de rupturas em cada arame da camada externa de tração de uma tubulação flexível submarina ascendente.

Em referência à **Figura 1**, o sistema da presente invenção compreende um arranjo (1) de sensores com pelo menos um sensor fixado em cada arame (2) da camada externa de tração de uma tubulação flexível ascendente submarina (3) na região interna de um conector (4) em uma unidade marítima flutuante (5); um módulo de processamento de dados (6) para a emissão de sinais ao arranjo (1) de sensores, e para a recepção e o tratamento dos sinais captados pelo arranjo (1) de sensores; e um meio (7) para transmitir os sinais emitidos pelo módulo de processamento de dados
20 (6) até o arranjo (1) de sensores, e para receber os sinais captados pelo
30

72

arranjo (1) de sensores até o módulo de processamento de dados (6).

Como pode ser visto em detalhe nas Figuras 2A e 2B, representações ampliadas da Região A da Figura 1, o meio (7) para transmitir e receber os sinais interliga em série todos os sensores (8) até o
5 módulo de processamento de dados (6). Na modalidade preferida do sistema, esse meio (7) é um cabo de fibra óptica.

Os sensores (8) utilizados são do tipo extensômetros, sendo que
esses extensômetros podem ser do tipo óptico ou do tipo resistivo. Preferencialmente, o sistema utiliza extensômetros ópticos dotados de
10 redes de Bragg que possuem tamanho reduzido, prescindem de energia elétrica e possibilitam que vários sensores (8) sejam montados em um mesmo cabo de fibra óptica. Essas características viabilizam a instalação de sensores (8) em uma área tão restrita como o interior de um conector (4).

15 As redes de Bragg em fibras ópticas são componentes ópticos passivos obtidos a partir de uma modulação local, longitudinal e periódica, do índice de refração do núcleo da fibra óptica. Devido à variação local do índice de refração, qualquer luz que se propague ao longo do núcleo da fibra sofre reflexão parcial em cada uma das camadas da rede.

20 Devido a carregamentos mecânicos aplicados ou gradientes de temperatura, o comprimento de onda da luz refletida pela rede de Bragg sofre alteração que pode ser relacionada à variação da grandeza medida. Os diferentes comprimentos de onda refletidos indicam as deformações absorvidas pelos arames (2), proporcionalmente às tensões a eles
25 aplicadas.

Os sensores (8) são fixados em cada arame (2) da camada externa de tração por um meio conveniente como, por exemplo, um adesivo, e são dispostos de forma longitudinal ao arame (2) da camada externa de tração, como visto na Figura 2A, ou de forma transversal ao arame (2) da camada
30 externa de tração, como visto na Figura 2B.

73

O arranjo (1) de sensores compreende adicionalmente pelo menos um sensor (não mostrado nas figuras) não fixado a qualquer um dos arames (2) da camada externa de tração para corrigir o efeito da temperatura na medição das deformações.

5 O módulo de processamento de dados (6) compreende um interrogador de fibra óptica (9) baseado no espectro (comprimento de onda) responsável pela emissão e recepção dos sinais para a medição da deformação dos arames (2) da camada externa de tração; e um computador (10) para tratar os sinais captados pelos sensores (8) e para
10 calcular a deformação e detectar possíveis rupturas dos arames (2) da camada externa de tração.

Para aumentar a segurança e a confiabilidade da monitoração da integridade estrutural de tubulações flexíveis ascendentes submarinas (3), o sistema pode compreender adicionalmente um arranjo secundário (11)
15 de sensores com pelo menos um sensor (8) fixado em cada arame (2) da camada externa de tração; e um meio secundário (12) para transmitir e receber os sinais que é ligado ao módulo de processamento de dados (6) como pode ser visto na Figura 3.

A instalação do sistema da presente invenção é feita durante um
20 processo usual de montagem de uma tubulação flexível submarina ascendente (3) em um conector (4). Após a etapa de realinhamento final dos arames (2) no conector (4), o arranjo (1) de sensores é instalado de forma que pelo menos um sensor (8) seja fixado em cada arame (2) da camada externa de tração; considerando também a necessidade de haver
25 pelo menos um sensor adicional (não mostrado nas figuras) não fixado a qualquer um dos referidos arames (2). Uma vez instalado o arranjo (1) de sensores, o meio (7) para transmitir e receber os sinais (preferencialmente um cabo de fibra óptica) é passado pelo interior de um conduíte (13) até o exterior do conector (4). Nesse ponto é feita uma conexão óptica com o
30 módulo de processamento de dados (6) na unidade marítima flutuante (5).

74

Depois que a conexão óptica é conferida, o conector (4) é preenchido com resina finalizando assim o processo de montagem.

O sistema proposto na presente invenção pode ser utilizado na monitoração da integridade estrutural de tubulações flexíveis ascendentes submarinas de acordo com um método que compreende as seguintes etapas:

- 10 a) emitir um sinal luminoso com determinado comprimento de onda por meio de um cabo de fibra óptica a partir de um módulo de processamento de dados;
- 10 b) passar o sinal luminoso por cada um dos sensores do tipo extensômetro de fibra óptica que utiliza Redes de Bragg fixados (e não fixados) em cada um dos arames da camada externa de tração de uma tubulação flexível submarina ascendente na região interna dos conectores em uma unidade marítima flutuante;
- 15 c) receber o sinal luminoso de retorno dos sensores transmitidos pelo cabo de fibra óptica até o módulo de processamento de dados;
- d) medir a variação no comprimento de onda do sinal luminoso proporcional à deformação de cada arame da camada externa de tração por meio do módulo de processamento de dados
- 20 desconsiderando a variação causada pelo efeito da temperatura;
- e) calcular a deformação longitudinal baseado na variação no comprimento de onda do sinal luminoso, e detectar possíveis rupturas em cada arame da camada externa de tração por meio do módulo de processamento de dados.

25 As informações sobre a deformação longitudinal ou as possíveis rupturas dos arames da camada externa de tração, obtidas com o sistema da presente invenção de acordo com o método descrito acima, podem ser utilizadas na própria unidade marítima flutuante ou podem ser transmitidas em tempo real até uma central de controle terrestre.

30 A descrição que se fez até aqui do sistema para monitoração da

75

integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente, objeto da presente invenção, deve ser considerado apenas como uma possível concretização, e quaisquer características particulares nele introduzidas devem ser entendidas apenas como algo que foi escrito para

5 facilitar a compreensão. Desta forma, não podem de forma alguma ser consideradas como limitantes da invenção, a qual está limitada ao escopo das reivindicações que seguem.

76

REIVINDICAÇÕES

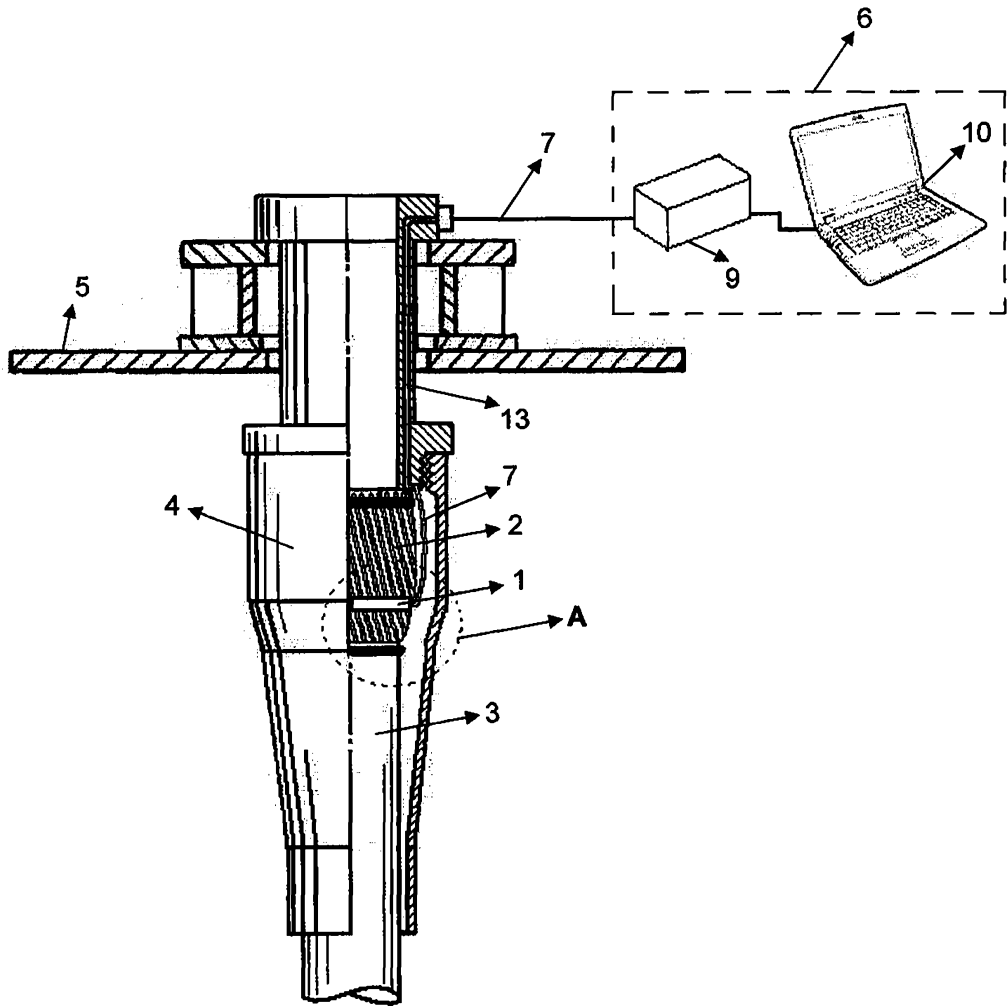
1. **Sistema para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente, caracterizado por** detectar variações na deformação longitudinal e possíveis rupturas em cada arame da camada externa de tração desse tipo de tubulação na região interna dos conectores (4) em uma unidade marítima flutuante (5), sistema esse que compreende:
 - a) um arranjo de sensores (1) com pelo menos um sensor fixado em cada arame (2) da camada externa de tração (3);
 - b) um módulo de processamento de dados (6) para a emissão de sinais ao arranjo de sensores (1), e para a recepção e o tratamento dos sinais captados pelo arranjo de sensores (1);
 - c) um meio (7) para transmitir os sinais emitidos pelo módulo de processamento de dados (6) até o arranjo de sensores (1), e para receber os sinais captados pelo arranjo de sensores (1) até o módulo de processamento de dados (6).
2. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o arranjo de sensores (1) compreender adicionalmente pelo menos um sensor não fixado a qualquer um dos arames da camada externa de tração (3) para corrigir o efeito da temperatura na medição das deformações.
3. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** os sensores (8) que compõe o arranjo de sensores (1) serem fixados em uma das seguintes formas:
 - a) longitudinalmente ao arame da camada externa de tração (3);
 - b) transversalmente ao arame da camada externa de tração (3).
4. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1 e 3, **caracterizado por** os sensores (8) serem de um dos seguintes tipos:
 - a) extensômetros ópticos;

b) extensômetros resistivos.

5. **Sistema** de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado por** os extensômetros ópticos utilizarem redes de Bragg.
6. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o módulo de processamento de dados (6) compreender:
 - a) um interrogador de fibra óptica (9) baseado no espectro (comprimento de onda) responsável pela emissão e recepção dos sinais para a medição da deformação dos arames (2) da camada externa de tração;
 - b) um computador (10) responsável pelo tratamento dos sinais captados pelos sensores (8) e pelo cálculo da deformação e detecção de possíveis rupturas dos arames (2) da camada externa de tração.
7. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o meio (7) para transmitir e receber os sinais interligar em série todos os sensores (8) até o módulo de processamento de dados (6).
8. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** o meio (7) para transmitir e receber os sinais ser um cabo de fibra óptica.
9. **Sistema** de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado por** compreender adicionalmente:
 - a) um arranjo secundário (11) de sensores com pelo menos um sensor (8) fixado em cada arame (2) da camada externa de tração;
 - b) um meio secundário(12) para transmitir e receber os sinais ligado ao módulo de processamento de dados (6) da reivindicação 1 em paralelo com o arranjo de sensores (1) e o meio (7) para transmitir e receber os sinais da reivindicação 1.
10. **Método para monitoração da integridade estrutural de uma tubulação flexível submarina ascendente** que utiliza o sistema da reivindicação 1, **caracterizado por** compreender as seguintes etapas:

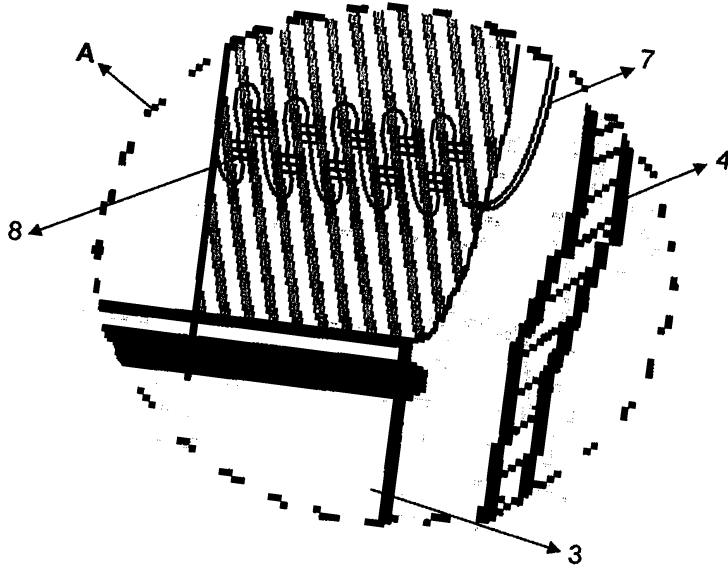
- a)** emitir um sinal luminoso com determinado comprimento de onda por meio de um cabo de fibra óptica a partir de um módulo de processamento de dados (6);
- b)** passar o sinal luminoso por cada um dos sensores (8) do tipo extensômetro de fibra óptica que utiliza Redes de Bragg fixados (e não fixados) em cada um dos arames (2) da camada externa de tração de uma tubulação flexível submarina ascendente na região interna dos conectores (4) em uma unidade marítima flutuante (5);
- c)** receber o sinal luminoso de retorno dos sensores (8) transmitidos pelo cabo de fibra óptica até o módulo de processamento de dados (6);
- d)** medir a variação no comprimento de onda do sinal luminoso proporcional à deformação de cada arame (2) da camada externa de tração por meio do módulo de processamento de dados (6) desconsiderando a variação causada pelo efeito da temperatura;
- e)** calcular a deformação longitudinal baseado na variação no comprimento de onda do sinal luminoso, e detectar possíveis rupturas em cada arame (2) da camada externa de tração por meio do módulo de processamento de dados (6).

FIG. 1



20

FIG. 2A



27

FIG. 2B

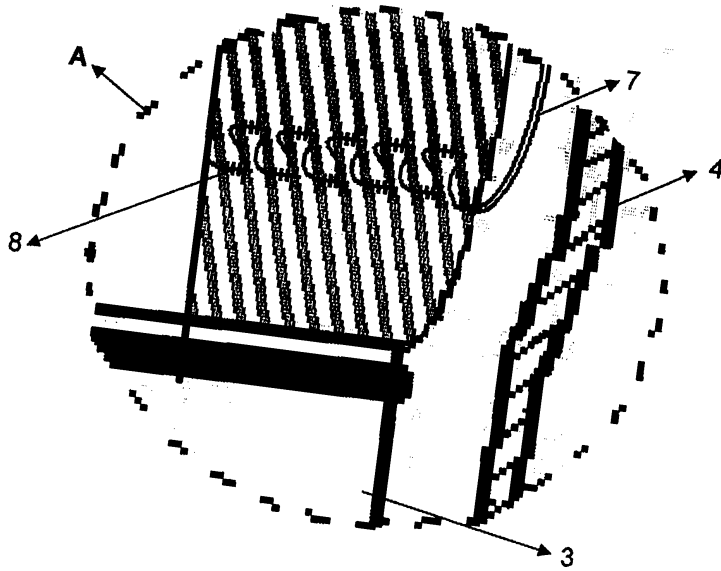
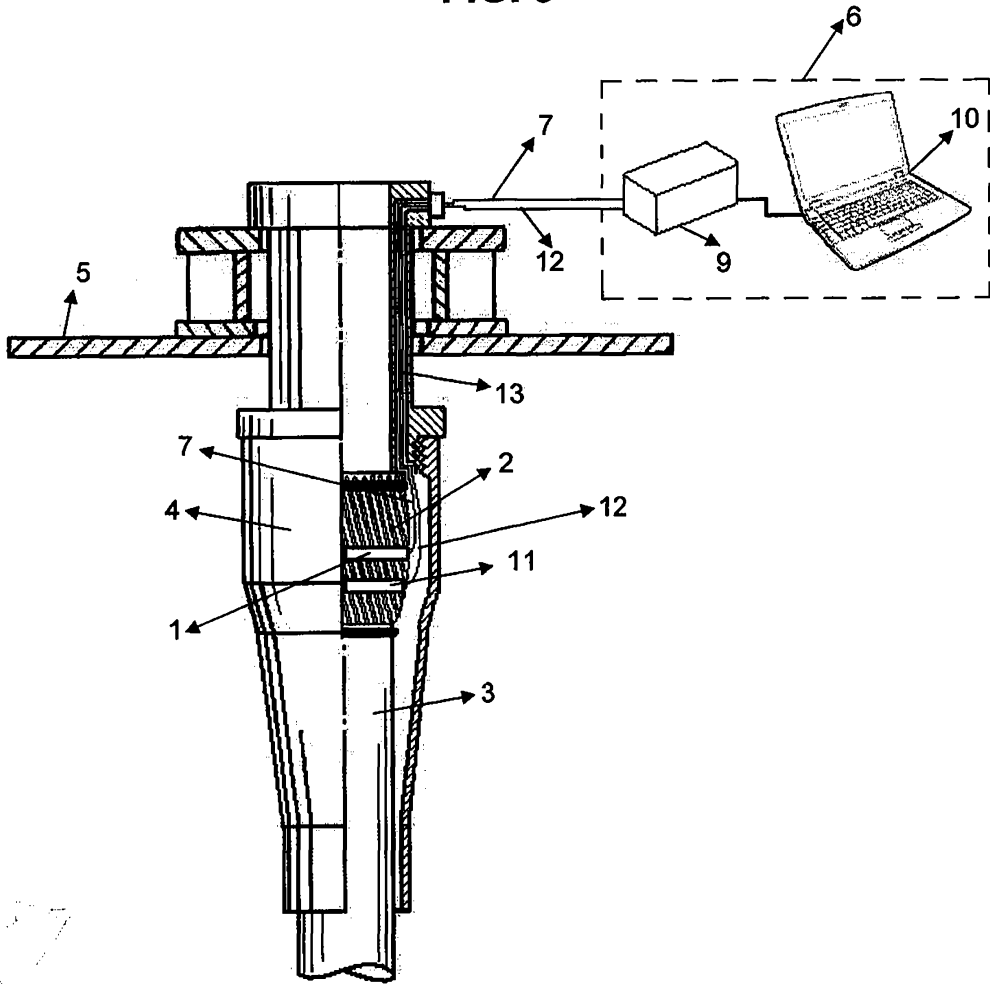


FIG. 3



22