

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS DA MARINHA MERCANTE

JEFERSON ARCENIO DA SILVA

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

RIO DE JANEIRO

2014

JEFERSON ARCENIO DA SILVA

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Orientador: Profº Marcelo Costa Alves

RIO DE JANEIRO

2014

JEFERSON ARCENIO DA SILVA

O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência para obtenção do título de bacharel em Ciências Náuticas do Curso de Formação de Oficiais de Náutica da Marinha Mercante, ministrado pelo Centro de Instrução Almirante Graça Aranha.

Data da Aprovação: ___/___/___

Orientador: Profº Marcelo Costa Alves

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

DEDICATÓRIA

Aos meus pais que sempre me
incentivaram e acreditaram na minha
capacidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os professores do curso, aos servidores do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, e enfim, todos que se empenharam em minha formação e de alguma maneira na conclusão deste trabalho.

Sou muito grato à minha família que me apoiou em momentos difíceis durante o curso, e que sem eles este trabalho não poderia ter sido realizado.

“As raízes do estudo são amargas, mas seus frutos são doces.”

(ARISTÓTELES)

RESUMO

Este trabalho se baseou no funcionamento do Sistema de Posicionamento de Dinâmico, e enfatiza a sua importância para o comércio e exploração marítima atual. As pesquisas e os estudos do sistema foram realizados através de publicações da Kongsberg Maritime e da Engenharia Naval da Universidade Federal do Rio de Janeiro, as quais foram produzidas na área de conhecimento da Marinha Mercante. Com a automatização dos processos que gerenciam o sistema, há uma exigência quanto à minimização de falhas, pois isso pode causar um acidente já que o trabalho prestado pelo sistema é de alta precisão. Assim, a ideia central se concentrou em analisar o sistema de maneira integrada.

Palavras – chaves: Sistema de Posicionamento Dinâmico. Exploração Marítima. Marinha Mercante.

ABSTRACT

This work was based on the operation of the Dynamic Positioning System, and emphasizes its importance for trade and current maritime exploration. Surveys and studies of the system were conducted through publications of Kongsberg Maritime and Naval Engineering of the Federal University of Rio de Janeiro, which were produced in the area of knowledge of the Merchant Marine. With the automation of processes that manage the system, there is a requirement as to minimize failures, as this can cause an accident since the work done by the system is high precision. Thus, the central idea focused on analyzing the system in an integrated manner.

Key - words: Dynamic Positioning System, Exploration Maritime, Merchant Marine

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2. O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO.....	15
2.1. Conceito de Sistema DP	16
2.2. Vantagens e Desvantagens	17
2.3. Aplicações do Sistema DP	20
2.3.1. Navio Aliviador	20
2.3.2. Platform Supply Vessel / Offshore Support Vessel	20
2.3.3. Diving Support Vessel (DSV's) e ROV Support Vessel.....	21
2.3.4. Drill Ship.....	21
2.3.5. Cable Lay e Repair Vessels	21
2.3.6. Pipe Laying – Lançamento de Linhas	21
2.3.7. Dragas.....	22
2.3.8. Crane Barge or Crane Vessel – Cábreas.....	22
2.3.9. Rock Dumping Vessels – Batelões	22
2.3.10. Navios de Passageiros.....	22
2.3.11. Semi-Submersible Heavy-Lift Vessels – Navio Dique	23
2.4. Tunnel Thrusters	23
3. CLASSES DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO	25
3.1. DP Classe 1	25
3.2. DP Classe 2	25
3.3. DP Classe 3.....	25
4. SUBSISTEMAS DE ORIENTAÇÃO AO SISTEMA DE DP	27

4.1. Sistema de Potência.....	27
4.2. Sistema de Propulsão	27
4.3. Sistema de Controle.....	28
4.3.1. Sistema de Computadores.....	28
4.3.2. Sistema de Sensoriamento	28
4.3.2.1. Agulha Giroscópica	28
4.3.2.2. Sistema de Referência Vertical	28
4.3.2.3. Anemômetro e Anemoscópio	28
4.3.2.4. Odômetro de Efeito Doppler	29
4.3.3. Sistema de Referência de Posição	29
4.3.3.1. Differential Global Positioning System (DGPS)	30
4.3.3.2. Differential, Absolute and Relative Positioning System (DARPS)	30
4.3.3.3. Artemis	30
4.3.3.4. RADius	31
4.3.3.5. CYScan / Fanbeam	31
4.3.3.6. Sistemas Hidroacústicos	32
4.3.3.6.1. Short Baseline Systems (SBL)	32
4.3.3.6.2. Ultra Short Baseline Systems (USBL)	32
4.3.3.6.3. Long Baseline Systems (LBL)	32
4.3.3.7. Taut Wire.....	33
5. MODOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DP.....	34
5.1. Joystick Manual Heading (JSMH)	34
5.2. Joystick Auto Heading (JSAH).....	34
5.3. Auto area position mode	35
5.4. Auto track mode	35

5.5. Autopilot mode	35
5.6. Follow target mode	36
6. COMPETÊNCIAS DO PESSOAL ENVOLVIDO NA OPERAÇÃO DP	37
6.1. Comandante.....	37
6.2. Imediato.....	37
6.3. Operador DP	37
CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

A motivação inicial para o desenvolvimento dos Sistemas de Posicionamento Dinâmico foi relacionada à exploração de petróleo em águas profundas, em substituição às plataformas fixas e amarradas de perfuração, e iniciou-se por volta da década de 60. O controle da posição era feito manualmente, onde o operador mantinha a posição da embarcação através de informações enviadas por um sistema de radar e de um sonar. Em 1961, desenvolveu-se o primeiro navio verdadeiramente equipado com Sistema DP, que utilizava um controlador analógico que recebia informações de um sensor de posição do tipo fio tensionado. Comparados aos modernos sistemas, eram extremamente simples, com controladores analógicos, sem redundância e desprovidos de um sistema de compensação ativa dos esforços ambientais.

O Sistema de Posicionamento Dinâmico é o mecanismo de controle, composto por sensores (GPS, DGPS, sonar, anemômetros, giroscópios, bússolas magnéticas, etc.), atuadores (propulsores e leme) e um processador central responsável pela execução do algoritmo de controle e pela interface com o operador.

Estruturas flutuantes, como plataformas semissubmersíveis de produção, barcaças de lançamento de dutos e navios de perfuração são amarradas por linhas ancoradas no fundo do mar, que compensam as forças naturais, como a corrente marítima e o vento. A partir dessas estruturas amarradas, iniciou-se o trabalho com as FPSO's (*Floating, Production, Storage and Offloading Systems*), que são navios amarrados explorando poços de petróleo, armazenando e processando o óleo que é transportado para as refinarias através dos navios aliviadores.

Considerando que as estruturas amarradas possuem capacidade de movimentação pequena, qualquer movimento além dessa possibilidade requer a manobra com navios rebocadores de âncora. Assim, deve-se considerar a viabilidade da operação, pois o custo das linhas, e dos navios especializados em lançamento de linhas pode se tornar muito caro.

Com o crescimento da quantidade de estruturas que operam na área de exploração, a necessidade de se ter um sistema que possibilite esta exploração

de forma segura e ao mesmo tempo muito produtiva é visível. Porém, a implantação do sistema de posicionamento dinâmico em todas as embarcações esbarra no alto custo de manutenção, de instalação e de operação. O custo ainda é muito elevado para as empresas de navegação. A gigantesca quantidade de combustível consumido em uma operação é uma grande desvantagem do sistema. Dessa forma, o sistema só é usado em situações realmente necessárias, onde o risco de dano ambiental ou uma possível tragédia é tão grande que há necessidade da segurança que o sistema oferece. Assim, a maioria dos navios de passageiros possuem quatro *azipodes*, garantindo a atracação sem auxílio de rebocadores.

2 O SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Antigamente, a extração de petróleo era feita em poços localizados no continente, entretanto a necessidade de extrair cada vez mais barris levou o homem a explorar os poços que se encontravam em alto mar.

Para a exploração do petróleo em alto mar foi necessária a instalação de plataformas semelhantes com as atuais. A fixação se dava por pesos e âncoras que limitavam o movimento das mesmas e permitiam a perfuração em águas mais profundas. Contudo, o sistema de ancoramento, apesar de permitir a fixação da embarcação, tinha defeitos como elasticidade, baixo amortecimento hidrodinâmico e exposição da embarcação ou plataforma a movimentos causados por correntes, ventos e ondas, fazendo com que as instalações ficassem sujeitas a avarias.

A primeira embarcação a utilizar o Sistema de Posicionamento Dinâmico foi a CUSS1. Ela foi utilizada do projeto Mohole e realizou a perfuração na camada Moho. A fim de alcançar esta camada, seria necessário realizar as operações em águas mais profundas possível. Equipada com um sistema automático de posicionamento dinâmico, ela contava com quatro thrusters, um sensor hidroacústico no fundo do mar e mais quatro boias que emitiam ondas de rádio para o radar da embarcação. Em 1961, utilizando o efeito conjugado dos impelidores, o CUSS1 foi capaz de manter-se sob o ponto de operação, realizando a perfuração a uma profundidade de 948 m. A operação foi tão bem sucedida que surgiram embarcações com sistemas semelhantes como a Caldrill-I e a Eureka, da Shell Oil Company. Alguns anos depois, franceses, ingleses e noruegueses também desenvolveram seus sistemas, estendendo a atuação de embarcações com posicionamento dinâmico até o Mar do Norte e Mar Cáspio.

Todavia, o emprego desses sistemas de posicionamento não se limitou ao uso em águas profundas. Em 1998, este sistema foi adaptado a uma embarcação de apoio marítimo e atualmente existem sistemas de atracação automática de navios em portos, manutenção de fundeadouros e canais, gerador automático de trajetórias, sistemas de dragagem automáticos, sistemas de combate a incêndio, entre outros.

2.1. Conceito de Sistema DP

“É uma capacidade que algumas embarcações possuem de manter-se em determinada posição e proa por meio do acionamento dos seus hélices propulsores e de hélices auxiliares (thrusters), controlados por um sistema computadorizado que integra uma variedade de outros sistemas e funções.” (BENTO, 2013, p.140)

O sistema funciona a partir de um sensor de referência de posição, geralmente um Global Navigation Satellite System (GNSS) que opera em conjunto com sensores de vento e de movimento e com a agulha giroscópica, fornecendo informações relativas à posição do navio e à direção e intensidade das forças ambientais (vento, corrente e ondas) que tendem a afastar a embarcação da posição desejada, o que possibilita ao sistema calcular, por meio de um modelo matemático da embarcação, o ângulo de leme e a potência de acionamento dos hélices necessários para compensar tais efeitos.

A referência de posição para o DP pode ser um ponto fixo no fundo do mar, outra embarcação ou mesmo um veículo submersível. O sistema também pode, em caso de necessidade, colocar a embarcação em ângulo favorável ao vento, a ondas e a correntes, reduzindo o desconforto a bordo.

“O DP permite operações no mar onde não seja possível a embarcação amarrar à boia, fundear em águas profundas ou fundear devido a congestionamento no fundo (cabos submarinos, oleodutos, gasodutos), além de conferir capacidade de manter a embarcação posicionada muito próxima de uma plataforma petrolífera, ou atuar em outras manobras difíceis.” (BENTO, 2013, p.142)

O termo DP – Vessel significa uma unidade ou navio com capacidade de manter-se automaticamente numa posição (fixar uma posição ou manter um rumo) exclusivamente por meio da força dos thrusters. Segundo a IMO, um navio posicionado dinamicamente é aquele que “mantém automaticamente sua posição em relação a um ponto fixo ou a uma derrota preestabelecida” utilizando exclusivamente a força de seus propulsores. Nesse último caso, uma embarcação dotada de DP é capaz de seguir o rumo no fundo com a proa voltada para ele, independentemente da presença de vento e corrente atuando sobre a embarcação.

Necessita-se de três elementos básicos para o funcionamento de um navio DP:

1 – Sistema de Potência

2 – Sistemas de Thruster

3 – Sistemas de Posicionamento Dinâmico

A ideia básica que concerne o sistema é de que deve existir sempre o reposicionamento da embarcação, ou seja, é um sistema reativo, e não proativo. Quando o navio sai da posição desejada, o sistema percebe esse movimento e reposiciona o navio.

Este reposicionamento instantâneo se dá de forma contínua, o que mantém a posição do navio praticamente inalterável durante o tempo necessário de operação. Para que seja mantida a posição, o sistema necessita de informações que sejam emitidas pelos outros equipamentos de bordo como a agulha giroscópica, o anemômetro, por exemplo, os quais facilitam a manutenção da posição desejada. Nesse sentido, sempre haverá um sistema de referência, que nem sempre é o Global Positioning System (GPS), operando em conjunto com todos esses equipamentos para que o sistema possibilite manter a mesma posição.

Os ventos, as correntes marítimas e as ondas alteram constantemente as forças aplicadas ao navio. Assim, o sistema decompõe a oscilação produzida no navio, em seguida, o sistema verifica entre os seis graus de liberdade do movimento quais desses movimentos influenciam na sua posição.

2.2. Vantagens e Desvantagens

Assim como qualquer outro sistema, o posicionamento dinâmico possui suas vantagens e desvantagens, por isso na escolha do método a ser utilizado para fixar uma plataforma ou embarcação em uma determinada posição deve ser feita uma análise coerente dos prós e contras.

O sistema DP possui as seguintes vantagens e desvantagens:

Tabela 1: Tabela das vantagens e desvantagens do Sistema DP

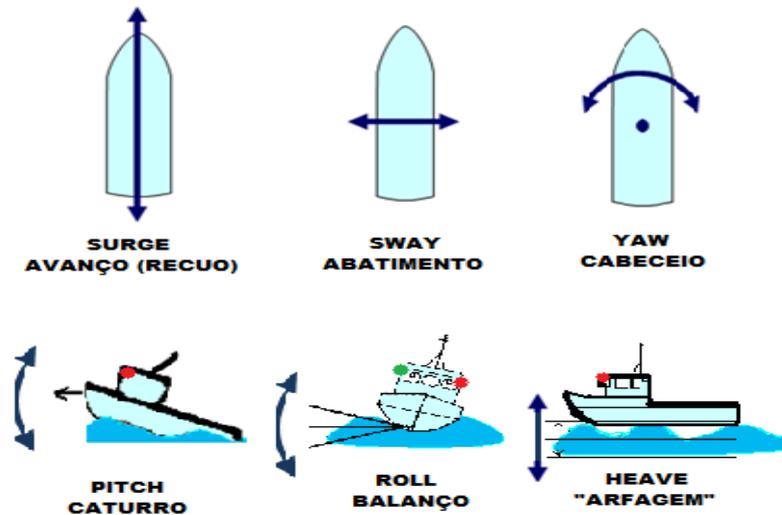
Vantagens	Desvantagens
Embarcações são autopropulsadas	Elevado custo e gasto
Rapidez nas operações	Elevado consumo de combustível
Flexibilidade na locomoção	Necessidade de equipe para manutenção
Atua em qualquer profundidade	Há chance de falha no sistema

Sabemos que o navio possui um movimento estrambótico, fora do comum. Para facilitar o estudo e a própria análise do sistema de posicionamento, decomparamos este movimento em seis graus de liberdade, que são:¹

- 1º Grau de Liberdade: SURGE – Avanço e Recuo. É uma translação no plano horizontal que pode ser controlado e não é medido pelo sistema.
- 2º Grau de Liberdade: SWAY – É traduzido como abatimento ou caimento. Porém, o abatimento é medido em graus, e o caimento é uma medida de distância. É um movimento de translação no plano horizontal. É controlado, porém não é medido pelo sistema.
- 3º Grau de Liberdade: YAW – Cabeceio. É um movimento de rotação no plano horizontal, sendo controlado, mas não sendo medido pelo sistema.
- 4º Grau de Liberdade: PITCH – Caturro. É um movimento de rotação em um eixo horizontal que ocorre no plano vertical. É medido pelo sistema, porém não é controlado.
- 5º Grau de Liberdade: ROLL – Jogo. É um movimento de rotação em um eixo horizontal que ocorre no plano vertical. É medido pelo sistema, porém não é controlado. Pode ser amortecido com ajuda de propulsores Voith, ou aletas.
- 6º Grau de Liberdade: HEAVE – Arfagem. Este movimento é uma apenas uma decomposição dos demais movimentos. É uma translação que ocorre no plano vertical, não sendo necessário medir. Também não é controlado pelo sistema DP.

¹ Estes dados foram obtidos através de instruções verbais em aulas ministradas na EFOMM.

Figura 1: Ilustração dos graus de liberdade



Fonte: Kongsberg Maritime

Os efeitos ambientais gerados pelo vento, por ondas e por correntes sobre o navio, que provocam os movimentos de Avanço, Deriva, Cabeceio, Balanço, Caturro e Arfagem, medidos das seguintes formas:

- Avanço e Deriva: por meio de sistemas de referência de posição;
- Cabeceio: pela agulha giroscópica; e
- Balanço, Caturro e Arfagem: por meio de sensores de movimentos verticais (*Vertical Reference Sensor – VRS*).

Dos seis graus de liberdade, existem três graus de liberdade que são controlados pelo sistema DP. Os outros três podem ser medidos e previstos, mas não são controlados. O jogo, por exemplo, não pode ser controlado, sendo somente amortecido com o auxílio de propulsores Voith Schneider que reduzem o balanço do navio. O uso das aletas estabilizadoras, quando o navio está em alta velocidade, também amortece o balanço. Estas aletas também auxiliam nas manobras de rebocadores portuários mantendo um contrabalanço à tensão gerada no cabo ligado ao navio sendo manobrado. Este conhecimento é fundamental aos práticos durante as manobras com rebocadores.

As aletas são placas presas ao casco da embarcação que funcionam como um hidrofólio, estabilizando-o. A Marinha de Guerra brasileira usa em Fragatas Classe Niteroi. Pode-se verificar a utilidade dessas aletas em vários navios de

passageiros. Porém, abaixo de 10 nós, as aletas não influenciam no balanço (informação verbal).²

2.3. Aplicações do Sistema DP

O sistema de posicionamento dinâmico usado em navios tornou-se um equipamento fundamental em uma embarcação. Atualmente, é praticamente inviável para a operação de uma embarcação altamente desenvolvida a inexistência do sistema DP, o qual já se tornou parte vital da embarcação. Assim sendo, há uma variedade de segmentos da indústria marítima onde o DP é aplicado. Aliado a necessidade, este moderno sistema melhora e muito a eficiência e o controle de uma embarcação em manobra ou até a navegação, por isso as aplicações vão muito além do que apenas manter posição fixa de uma embarcação.

2.3.1. Navio Aliviador

O navio aliviador é um navio tanque especialmente desenvolvido para transportar óleo das plataformas (FSO, FPSO) para as refinarias. Os navios aliviadores começaram a ser utilizados como uma opção aos oleodutos, uma vez que estes só entregam o óleo a um determinado terminal e os navios são mais flexíveis, podendo distribuir a carga em vários terminais. Outra vantagem dos navios aliviadores, que se pode citar, é a de separar a carga proveniente de diferentes FPSO's e também o fato que esses navios são mais vantajosos em sua manutenção, enquanto que os oleodutos necessitam que o processo de escoamento seja interrompido para a realização de manutenções. Esses navios contam com Sistemas de Posicionamento Dinâmico (SDP), tornando a manobra confiável e, neste caso, não necessitando do auxílio de rebocadores.

2.3.2. Platform supply vessel (PSV) / Offshore Support Vessel (OSV) – Supridores

Antigamente, esta categoria de navio não operava com sistema DP. Porém, atualmente é uma redundância falar em PSV sem estar embutida a ideia de posicionamento dinâmico. A principal função destes navios é suprir a necessidade

² Informações verbais obtidas em aula de Navegação Eletrônica na EFOMM.

de material das plataformas, possuindo um convés amplo e de madeira. A necessidade de manobrar próximo às plataformas é inerente ao navio, implicando no uso do sistema de posicionamento.

2.3.3. Diving Support Vessel (DSV's) e ROV Support Vessels

Estas embarcações são apropriadas para apoiar atividades subaquáticas, dando suporte aos mergulhadores que fazem uma série de trabalhos submarinos como inspeções, instalação, reparo, em equipamento ou instalações submarinas, bem como operações com os robôs submarinos (ROV). Estes navios realizam variadas tarefas, até a recuperação de equipamentos ou remoção do fundo do mar.

2.3.4. Drill Ships

Este navio não pode perder sua posição mesmo em condições atmosféricas severas, pois está sempre conectado ao fundo através do riser (cabeça de poço/BOP). Os navios sonda atuais possuem grande capacidade de operação (podem operar em profundidades acima dos 12.000 pés de profundidade). Possuem os sistemas de posicionamento mais sofisticados que existem no mercado, como o DP Classe 3, os sistemas DGPS e o Long Baseline (LBL), além de usar transmissores e sensores acústicos.

2.3.5. Cable Lay e Repair Vessels

Estes navios atravessam os oceanos interligando continentes por meio de cabos submarinos. Obviamente, a instalação requer cuidados especiais. Por isso navios com sistema DP são ideias para tais operações, já que os cabos de fibra ótica não podem sofrer rupturas ou nem estarem solecados demais.

2.3.6. Pipe Laying – Lançamento de linhas

Na maioria das operações de lançamento de linhas submarinas (tubos) existe a necessidade de navios operando em DP, pois assim oferecem mais segurança e

precisão na operação, pois as inúmeras fases da operação exige o correto posicionamento da embarcação de acordo com a necessidade de linhas flexíveis.

2.3.7. Dragas

Devido à necessidade de dragagem em canais estreitos, as dragas atuais já veem sendo equipadas com o sistema de posicionamento dinâmico, que proporciona maior precisão e segurança do que apenas o VTS (Vessel Track System) onde as linhas estão muito próximas uma das outras, dificultando o posicionamento.

2.3.8. Crane Barge or Crane Vessel – Cábreas

As cábreas são vitais em obras civis marítimas (pontes, portos), também como montagem de módulos de plataformas em mar aberto, levantamento de grandes pesos, salvamento marítimo e remoção de destroços no mar. Com sistema DP estas embarcações oferecem maior nível de segurança e rapidez.

2.3.9. Rock Dumping Vessels – Batelões

Este tipo de navio é usado em paralelo aos serviços de dragagem e construção portuária para construir pontilhões, quebra mares, e outro tipo de proteção contra os efeitos das marés que envolvam rochas. Este tipo de embarcação peculiar é um basculante de rochas, necessitando de precisão na descarga do material (rocha, pedra brita e cascalho), pois este material é depositado geralmente sobre linhas de oleodutos ou gasodutos submarinos. Estes navios utilizam a tecnologia DP, pois permite uma ótima precisão e mantém uma velocidade constante e ideal quando esta depositando o material.

2.3.10. Navios de passageiros

Estes navios possuem impelidores laterais e sistemas de propulsores azimutais dispensando o uso de rebocadores portuários. Sendo assim, o sistema DP

promove um ganho operacional. Há uma grande necessidade de sistema de posicionamento dinâmico nos modernos navios de passageiros, como os grandes cruzeiros, a fim de garantir uma maior segurança durante as manobras de atracação e desatracação. Além disso, esses navios possuem uma borda livre alta combinada com pouco calado, o que possibilita manobras em canais com pouco calado e atracar em portos rasos, com isso é necessário o auxílio de um sistema que ofereça maior precisão durante a manobra. Considerando o advento do sistema DP, esses navios não são mais obrigados a fundear, apenas manter a posição já é suficiente.

2.3.11. Semi-submersible Heavy-Lift Vessels – Navio Dique

Estes navios levam cargas de grandes dimensões e também outras embarcações sobre seu convés, realizando grandes travessias, mas o maior desafio é o carregamento e descarregamento, que em geral necessita da submersão do navio mantendo a posição apesar das variações como correntes, vento e marés, além da restrição de calado. Nestes casos, a carga vem flutuando, e após estar na posição ideal o navio novamente emerge. O sistema DP se faz necessário nesta operação pela segurança transmitida.

2.4. Tunnel Thrusters

O propulsor em duto ou tunnel thrusters é um dos mais empregados em embarcações aliviadoras com SPD, ele consiste em um propulsor no interior de um duto localizado transversalmente na embarcação. Os propulsores são localizados o mais próximo da extremidade da proa ou da popa com o intuito de aumentar o momento de guinada (yawing moment) atuante.

Diversos fatores podem afetar o desempenho dos tunnel thrusters, porém existem três principais que são destacados: a posição do duto em relação à linha de flutuação do navio devido ao efeito hidrodinâmico da ventilação, a relação entre comprimento e diâmetro do duto e a inclinação do costado onde o duto se localiza.

Geralmente, os navios petroleiros utilizam propulsores principais de passo fixo com o maior diâmetro possível conectado diretamente ao Motor de Combustão Principal com o intuito de aperfeiçoar a eficiência propulsiva, quando se navega em

velocidade de cruzeiro. Entretanto, embarcações com Sistema DP precisam de atuadores que possam reverter sua rotação e, como a inversão de rotação em motores Diesel é complexa, os mecanismos de mudança de passo (mudança no ângulo de ataque da pá do hélice) têm sido empregados. O mecanismo de troca de passo nos propulsores diminui sua eficiência em comparação aos propulsores de passo fixo, pois aumenta o diâmetro do boço e interfere no fluxo do propulsor. Em conjunto com a propulsão principal, lemes são utilizados para que as manobras possam ser realizadas durante a condição de velocidade de cruzeiro.

A maioria das embarcações aliviadoras utilizam propulsores de grande diâmetro, mas atualmente já existem propostas de propulsão principal com azimutais com bocal, porém, a aplicação é mais indicada para navios de apoio marítimo.

3. CLASSES DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO DINÂMICO

Um sistema DP consiste em um grupo de aparelhos que operam de forma integrada a fim de alcançar o objetivo da maneira mais suficientemente segura para a operação. A confiabilidade necessária é determinada de acordo com a consequência da perda da capacidade de manter a posição ou trajetória. Quanto pior a consequência, mais confiável o sistema deve ser. De acordo com a confiabilidade do sistema após falhas, os requisitos do sistema DP foram agrupados em três classes de equipamentos, que são classificados de acordo com a IMO em: CLASSE 1, CLASSE 2 e CLASSE 3.

Nesse sentido, observamos a redundância do sistema às falhas. O quanto o próprio sistema garante a confiabilidade, a continuidade da operação mesmo após ocorrer falhas no equipamento. A transferência do comando de operação para um sistema secundário de mesmo porte deve ser automática, e necessitar da mínima interferência do operador DP, considerando que esta transferência de operação não deve trazer consigo as falhas ocorridas que fizeram por culminar na troca para o aparelho secundário.

3.1. DP Classe 1

Neste sistema, a perda da posição pode ocorrer devido uma falha. O controle da posição e da proa do navio pode ser feito manual ou automaticamente. Temos um navio não redundante.

3.2. DP Classe 2

Nesse sistema, a posição é controlada manual ou automaticamente. O navio apresenta redundância de sistema e de equipamentos, e a perda da posição não pode ocorrer devido a uma falha nos componentes ativos ou falha nos sistemas. Esta falha inclui qualquer componente operante ou sistema, tais como: geradores, propulsores, chaves, válvulas de controle à distância e etc.

3.3. DP Classe 3

Nesta classe, a perda da posição não pode ocorrer devido a uma falha nos componentes ativos ou sistemas, mas pode ocorrer devido a falhas em quaisquer

componentes estáticos, tais como: cabos, dutos, válvulas manuais e etc. O critério para falha inclui qualquer componente ou sistema, tais como: geradores, propulsores, chaves, válvulas de controle à distância e, também qualquer componente que se encontre em um compartimento ou subdivisão estanque e a prova de fogo. O navio deve ter assim, redundância e back up (dois sistemas independentes acrescidos de um sistema back up).

O “back up” do sistema de controle do DP classe 3 deve estar em um compartimento estanque e a prova de fogo separado por uma antepara classe A60. E durante uma operação, deve estar sendo atualizado como os computadores principais, e estar pronto para ser colocado em operação em caso de uma emergência. Outro quesito importante é que não pode ser afetado por falhas ocorridas nos computadores principais. E a transferência para o computador “back up” deve ser feita manualmente. Sendo que o comando deve estar situado dentro do compartimento especial.

4. SUBSISTEMAS DE ORIENTAÇÃO AO SISTEMA DE DP

4.1. Sistema de Potência

O sistema de potência é o responsável pelo fornecimento de energia aos propulsores sistema auxiliares. Os propulsores são os responsáveis pelo grande gasto do sistema de posicionamento dinâmico. Como as forças que o navio se sujeita variam constantemente, o sistema de controle sofre variações de demanda muito grande de energia. Dessa forma, necessita-se de um sistema flexível que evita o desperdício de energia. Com a finalidade de proteger o sistema de quedas de energia prolongadas, usa-se uma fonte de alimentação ininterrupta que garante uma alimentação estabilizada não sofrendo interrupções momentâneas.

4.2. Sistema de Propulsão

São necessários para a operação DP propulsores eficientes e confiáveis, para que se garanta o seguro controle da embarcação. O sistema de propulsores desses navios é composto por todos os propulsores envolvidos no posicionamento, e por todos os sistemas de controle relacionados a cada um dos propulsores.

Pode-se ressaltar que os propulsores usados em navios DP são construídos para operarem em baixa velocidade, enquanto os outros propulsores são projetados a fim de atender às necessidades da navegação em velocidade de cruzeiro. Os principais propulsores são os principais localizados na popa, os propulsores em duto os quais possuem um túnel transversal ao casco, e os propulsores azimutais que possuem capacidade rotativa. Normalmente, os navios requerem a utilização de quatro a oito propulsores, mas isso irá depender da redundância necessária e também do grau de segurança que a operação DP irá ser conduzida.

Estes propulsores usados em posicionamento dinâmico devem ter uma resposta mais aguçada que os demais propulsores principais, tendo em vista que devem apresenta uma resposta à variação da força da natureza sobre o navio, já que um atraso pode dificultar a tomada de decisão pelo operador do sistema de controle.

Outro fato a ressaltar é que a redundância causa um aumento no número de propulsores para garantir a manutenção da posição, porém esse aumento reduz o

tamanho dos propulsores. Assim, usam-se muito os propulsores em túnel os quais permitem a alocação muito próxima uns aos outros.

4.3. Sistema de Controle

4.3.1 Sistema de Computadores

O sistema de computadores inclui um ou mais computadores e suas interfaces (teclado, mouses). Para que o sistema não perca os dados, devem se alimentar todos os computadores envolvidos na operação do sistema de posicionamento com um Sistema de Alimentação Ininterrupta (UPS – Ininterruptible Power Supply), garantindo que o quedas não afetam os computadores.

4.3.2. Sistema de Sensoriamento

4.3.2.1. Agulha Giroscópica

A agulha giroscópica é um equipamento de bordo usado no auxílio ao Oficial de Náutica, como uma fonte primária de posição e rumo do navio. Serve como uma das fontes de informação ao sistema de posicionamento dinâmico. São necessárias de duas a três agulhas giroscópicas a bordo das embarcações, sendo que cada uma deve ser ligada de maneira independente aos sistemas de posicionamento, para garantir a redundância necessária.

4.3.2.2. Sistema de Referência Vertical

Este sistema serve como uma fonte de dados para que a mudança de posição da antena ocasionada pelo balanço, caturro e arfagem do navio não altere a posição real que o DP informa. Pois, o navio está parado na mesma posição, apesar de a antena passar a informação de que o navio se movimenta lateralmente. Em geral, os ângulos de balanço e caturro são medidos por clinômetros, enquanto que a arfagem é medida por aceleradores verticais.

4.3.2.3. Anemômetro e Anemoscópio

Anemômetro é um equipamento que mede a componente horizontal do vento. E o anemoscópio é um equipamento que nos informa a direção do vento. São

encontrados em todos os sistemas de posicionamento dinâmico, pois os controladores usam suas informações para estimar a força do vento contrabalancear com as dos propulsores. Falhas nos anemômetros de bordo podem gerar grandes despesas, pois a estimativa errônea das forças dos ventos forçará o sistema a tentar compensar esse cálculo errôneo gerado pela falha no anemômetro. Outro ponto crucial sobre o anemômetro é que a área em sua proximidade deve ser bastante desobstruída para facilitar que ocorra o escoamento do vento realmente atuante na área, pois embarcações próximas, plataformas ou helicóptero em pouso criam barreiras para o vento.

4.3.2.4. Odômetro de Efeito Doppler

O “Doppler Log” ou odômetro de efeito Doppler indica o seguimento do navio em relação ao fundo e é muito útil em manobras de atracação e desatracação devido a sua precisão.

4.3.3. Sistema de Referência de Posição

Este sistema tem por função medir a posição da embarcação no plano horizontal. Existem vários no mercado, o que permite que as empresas optarem por aquele que mais se aplica à operação considerando suas vantagens e desvantagens. Muitas falhas que ocorrem no sistema de posicionamento dinâmico advêm de falhas neste de sistema de referência. Assim, faz-se necessário a existência de mais de um sistema de referência de posição independentes no mesmo navio.

Segundo o Comitê de Segurança da IMO, os sistemas de referência de posição devem ser selecionados levando-se em conta o desempenho nas situações de operações. E quando houver mais de um a bordo, os sistemas devem conter princípios de funcionamento diferentes. Além disso, o sistema deve possuir alerta a fim de informar ao operador, quando os sinais estão transmitindo dados errôneos e informações imprecisas.

Estes sistemas de referência de posição são divididos em sistema de referência de superfície (DGPS, DARPS, Artemis, RADIUS, Cyscan, Fanbeam) e o de subsuperfície (Acústico, Tautwire).

4.3.3.1. Differential Global Positioning System (DGPS)

O sistema GPS é alimentado com sinais de satélites a fim de determinar as coordenadas geográficas e topográficas. Porém, a essência deste sinal emitido pelos satélites contém erros, que se traduzem em localizações imprecisas para os usuários, e que seria inviável a aplicação em posicionamento dinâmico, onde a precisão chega a ser de centímetros. Dessa forma, introduziu-se uma correção diferencial a fim de reduzir o erro contido na essência do sinal de satélite, chamada de DGPS. A versão mais atual chega a proporcionar uma precisão de até 50 centímetros.

4.3.3.2. Differential, Absolute and Relative Positioning System (DARPS)

O DARPS (*Differential, Absolute and Relative Positioning System* – Sistema de Posicionamento Diferencial e Relativo) é muito usado devido à necessidade de se obter a posição entre dois alvos móveis. A principal função deste sistema consiste em fornecer a posição absoluta da embarcação e informações de velocidade com controle de qualidade integrado, fornecer a posição relativa entre duas embarcações ou a um ponto de referência fixo, usar as informações de caturro, balanço e aproamento para compensar o desvio da antena.

4.3.3.3. Artemis

No Brasil, o Artemis é muito usado em operações de transferência de petróleo entre FPSO e navios aliviadores. Neste sistema, a manutenção da posição ocorre através da emissão de ondas de rádio ou micro-ondas de 9 gigahertz de frequência. É composto por duas estações, uma estação móvel localizada a bordo da embarcação DP e uma estação fixa que se localiza na estrutura de sustentação da plataforma. A antena fixa calcula a distância e a marcação da antena móvel situada na embarcação, e a antena móvel emite sinais em 360° até localizar o ponto fixo, exatamente como um radar. Após, o encontro das ondas emitidas pela antena móvel e fixa, gera-se uma confluência de sinais eletromagnéticos, que mantém o

sistema informado da posição da embarcação. A distância da embarcação é obtida de maneira semelhante ao radar, através do tempo que a onda leva para alcançar o receptor a partir do emissor. O aproamento da embarcação é obtido com a angulação entre as antenas.

A grande vantagem desse sistema é a independência da profundidade onde opera, o que permite ser aplicado em águas profundas sem risco à segurança, e também por permitir grande exatidão no seu funcionamento. Porém, a desvantagem nesse sistema é a reflexão causada pela água, e pelas estruturas próximas, e a manutenção da antena fixa. Outra limitação do sistema é que o feixe de ondas emitido pela estação fixa deve ir de encontro ao feixe de ondas emitido pela estação móvel, sendo assim uma grande diferença de altura entre a plataforma e o tijupá do rebocador pode reduzir a qualidade do sistema e até mesmo deixar de operar.

4.3.3.4. RADius

Este sistema é baseado no uso de múltiplos transponders, já que cada sinal possui uma identidade única. Temos um receptor na estrutura de sustentação da plataforma e um transmissor de sinais na embarcação. O diferencial deste sistema em relação aos demais é que não possui partes móveis reduzindo o custo de manutenção, pode ser aplicado em qualquer situação meteorológica e não há o problema de refletir alvos falsos.

4.3.3.5. CYScan / Fanbeam

O CYScan e o Fanbeam são sistemas que possuem o mesmo princípio de funcionamento que é leitura óptica por laser infravermelho, onde uma estação é posicionada na embarcação e outra estação é instalada em um ponto fixo como uma plataforma os quais são chamados de refletores. A diferença entre os sistemas é que o CYScan pode operar com mais de um refletor no ponto fixo.

A unidade ligada à embarcação emite um laser que é refletido pelos refletores de volta para a unidade emissora, a qual calcula a distância em relação ao ponto fixo. A eficiência destes sistemas pode ser comprometida quando ocorre a reflexão de alvos falsos, obstrução do feixe de laser ou sujeira na lente.

4.3.3.6. Sistemas Hidroacústicos

A hidroacústica ou acústica submarina trata-se do estudo da propagação da onda mecânica em meio aquático. Estes sistemas são aplicados no posicionamento dinâmico, no rastreamento de equipamentos no solo submarino e na observação do relevo submarino.

Estes sistemas funcionam com a emissão de sinais acústicos em direção ao solo submarino onde se encontram retransmissores que reemitem este sinal acústico. Assim, a diferença de tempo entre a emissão e recepção do sinal informa a profundidade que há naquele local e a posição do navio. Estes sinais são emitidos a partir do ponto mais profundo do navio e mais distante do propulsor para evitar perturbações, já que o sistema é suscetível a perturbações marítimas.

Existem três tipos de sistema de referência de posição hidroacústico: Ultra Short Baseline Systems (USBL), Short Baseline Systems (SBL) e o Long Baseline Systems (LBL).

4.3.3.6.1. Short Baseline Systems (SBL)

Neste método, temos um emissor que emite sinais em tempos regulares para os receptores instalados no casco do navio. Esta combinação permite calcular a posição através do tempo que o sinal leva para sair do emissor, e alcançar o receptores. Há necessidade de sensores de referência vertical para calcular o quanto o sistema deve compensar o erro causado pelo balanço (*roll*) e o caturro (*pitch*) do navio.

4.3.3.6.2. Ultra Short Baseline Systems (USBL)

Este aparelho funciona como um Short Baseline System com os transdutores em um único corpo. A posição é obtida pelo atraso de fase dos sinais acústico senoidais. É o considerado o sistema que apresenta o maior número de erros de posicionamento, sendo, porém, usado por causa das suas aplicações versáteis em outras funções não ligadas ao DP.

4.3.3.6.3. Long Baseline Systems (LBL)

Neste sistema, temos um transponder fixo na quilha do navio e outros três transponders fixos no fundo do mar. Estes aparelhos emitem sinais sonoros e calculam o tempo de transmissão até a recepção pelo casco, determinando a distância entre eles, e em consequência a posição do navio. Não ocorrem erros advindos da curvatura do sinal pela refração, já que nenhuma medida de ângulo é necessária. Este é o diferencial do sistema que é considerado o mais preciso em longas distâncias.

4.3.3.7. Taut Wire

O sistema é composto por um guincho no bordo do navio onde é mantido um cabo com uma poita na extremidade. Após a poita tocar o fundo do mar, este cabo é mantido tensionado mantendo a inclinação, já que quaisquer variações nesse sentido serão percebidas pelo equipamento. Para aumentar a precisão do sistema são usados sensores de referência vertical decifrando o balanço e o caturro no navio.

Quanto maior a profundidade em que se opera, maior será o comprimento do cabo e também da facilidade de ocorrer erros decorrentes das deformações que a correnteza provoca. Isso limita a aplicação deste sistema à 300 metros de lâmina d'água.

5. MODOS OPERACIONAIS DO SISTEMA DP

Uma embarcação pode ser controlada em modos diferentes dependendo da aplicação. A diferença entre os modos é como os set-points de velocidade e posição são gerados.

5.1. Joystick Manual Heading (JSMH)

No modo manual, o operador possui total controle da embarcação utilizando um joystick. O operador consegue movimentá-la no sentido longitudinal e transversal e ainda controla o aproamento da embarcação.

As funções disponíveis no modo manual são:

- Seleção de ganho do joystick.
- Compensação de forças ambientais.
- Rotação da proa e da popa.

Neste modo, também é possível selecionar o controle automático do movimento transversal ou longitudinal, que combinado com o controle automático do aproamento, permite que o operador tenha que se preocupar somente com um eixo de movimento do navio.

5.2. Joystick Auto Heading (JSAH)

O modo de posição automática controla o aproamento e a posição. No controle de aproamento, o operador dispõe das funções que permite estabelecer o rumo da proa de acordo como rumo atual, inserir um valor desejado (que acarretará no giro da embarcação até o valor determinado) e o controle da proa com utilização mínima de energia. Também é possível estabelecer a velocidade de giro e o alarme de aproamento.

No controle de posição o sistema irá manter a embarcação na posição desejada, e o controlador pode estabelecer que o navio seja mantido na posição atual, na posição estipulada, na posição marcada ou na posição que a embarcação se encontrava anteriormente. Assim como no controle da proa, o operador pode estabelecer a velocidade da embarcação e o alarme de posição.

Esse modo de operação é muito utilizado em manobras de aproximação de plataformas onde a referência visual também é importante. Apesar da proa fixa, o movimento de vante, ré, bombordo e boreste funcionam como no modo JSMH.

5.3. Auto area position mode

Este modo permite que a embarcação permaneça em uma determinada área com o consumo mínimo de energia. Geralmente usado quando a embarcação precisa ficar em espera em uma determinada região. O modo não mantém a embarcação necessariamente no centro da área, permitindo certo desvio. Os propulsores e/ou impelidores são acionados apenas quando o navio ultrapassa certos limites, utilizando o mínimo de energia possível.

5.4. Auto track mode

No modo “auto track” as posições são previamente programadas através de “waypoints”, os pontos de guinada, mantendo o navio a derrota planejada. Faz ainda as correções no abatimento e caimento. O controle é feito tanto em baixas como em altas velocidades, utilizando estratégias de controle diferentes para cada uma delas. O sistema pode trocar automaticamente a estratégia de controle, ou a mudança pode ser feita manualmente pelo operador.

Em baixas velocidades, o controle de posição e aproamento são aplicados em todos os três eixos de movimento. A velocidade pode ser de poucos centímetros por segundo até três nós, acima disso o efeito lateral dos thusters é reduzido e, portanto, o sistema fica menos preciso.

Em altas velocidades, a embarcação pode manter-se na derrota estipulada pelo operador até sua velocidade mais alta. Este controle é feito pela manutenção do rumo da embarcação, que é calculado continuamente pelo sistema, de acordo com a velocidade do navio e a grandeza das forças ambientais.

5.5. Autopilot mode

O modo piloto automático faz com que a embarcação navegue em uma rota pré-definida automaticamente, controlando com precisão os rumos da embarcação. Este modo utiliza os propulsores e o leme ou os azimutais, e compensa a força do vento que age sobre o navio.

Esta função do sistema poderia ser usada para substituir o piloto automático convencional das embarcações, pois garante uma precisão muito maior. Muitas embarcações off-shore a utilizam para pequenas perradas entre as plataformas ou ainda para viagens de volta para o porto. Porém, o consumo de combustível do piloto automático do sistema DP é muito maior do que o consumo do piloto automático convencional, tornando-o inviável em viagens mais longas.

5.6. Follow target mode

O modo de acompanhamento de alvo, certamente o modo mais complexo, permite que a embarcação acompanhe um alvo em movimento, mantendo-se uma distância relativa entre eles. Para que isto seja possível, é necessário que o alvo esteja equipado com um transponder para que o sistema DP possa monitorar sua posição. Tem utilidade crucial nos barcos ROV. A posição do navio se mantém constante em relação ao ROV, unidade robótica submersa em movimento ou parada.

O operador define um círculo de operação em que o alvo pode se movimentar sem fazer com que a embarcação também se movimente. O navio somente ira se movimentar caso o alvo ultrapasse o limite deste círculo. Esta função é chamada de “raio de reação”.

6. COMPETÊNCIAS DO PESSOAL ENVOLVIDO NA OPERAÇÃO DP

6.1. Comandante

O comandante da embarcação deve assumir o comando da embarcação, e deve gerenciar uma falha na operação do sistema de posicionamento dinâmico, dando inclusive uma resposta à situação. Deve, além disso, manter a segurança da operação e da tripulação, e gerenciar o quesito emocional como o estresse.

6.2. Imediato

O Imediato deve assumir o comando da embarcação no momento da operação DP. Também deve atentar para a segurança, devendo para isso conhecer os procedimentos de emergência, avaliação e controle de situações críticas.

6.3. Operador DP

O operador do sistema DP deve estar capacitado a manter a embarcação na posição estabelecida. E ter boa capacidade de interpretação das instruções recebidas e transmitir informações importantes ao Comandante.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho salientou o funcionamento e principalmente a composição do Sistema de Posicionamento Dinâmico. A característica mais notável no funcionamento deste sistema é o trabalho interligado entre vários subsistemas que o compõem. Sendo assim, a ocorrência de falhas pode implicar em erros no posicionamento e aproamento da embarcação. Ressalta-se que qualquer falha pode implicar em abalroamento de embarcações com consequências ambientais catastróficas e possíveis perdas de vidas humanas.

Sendo assim, a precisão e o risco aliado às operações trazem consigo a necessidade de pessoal qualificado que possua conhecimento e experiência com o sistema.

REFERÊNCIAS

BENTO, Carlos Norberto Stumpf. **Navegação Integrada**. Niterói, Cláudio Ventura Comunicação, 2013.

Diretoria de Portos e Costas. Disponível em: <http://www.dpc.mar.mil.br>

INTERNATIONAL MARINE CONTRACTORS ASSOCIATION. **Competence Assurance and Assessment – Guidance Document and Competence Tables**. Disponível em: <http://www.imca-int.com/documents/publications.html>

JORGE, Sara da Silva. **Sistema de Posicionamento Dinâmico: Modulação e Construção de Hélice em Escala Reduzida Através de Usinagem de Alta Precisão e Estudo Comparativo entre Simuladores**. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Rio de Janeiro, 2006.

KONGSBERG. **Kongsberg Maritime**. Disponível em: <http://www.km.kongsberg.com/>

TANNURI, Eduardo Aoun. **Sistemas de Posicionamento Dinâmico: Projeto, Análise e Novos Desenvolvimentos**. São Paulo, 2009. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.oceanica.ufrj.br>