

MARINHA DO BRASIL
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO PARA OFICIAL DE MÁQUINAS - APMA.1/2017

MOARA DE SOUZA LIMA

O TROCADOR DE CALOR DO TIPO BOX COOLER

RIO DE JANEIRO
2017

MOARA DE SOUZA LIMA

O TROCADOR DE CALOR DO TIPO BOX COOLER

Artigo apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/2 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: ____/____/____

Orientador: Aristóteles **Mello**

Oficial Superior de Máquinas

Assinatura do Orientador

NOTA FINAL: _____

TROCADOR DE CALOR DO TIPO BOX COOLER

RESUMO

A bordo de navios e plataformas, existe a necessidade de resfriamento dos equipamentos que geram calor durante seu funcionamento, como é o caso dos motores principais, auxiliares e de emergência. Devido a isto são instalados a bordo resfriadores para abaixar tal temperatura de funcionamento, atendendo as especificações de operação do fabricante de cada maquinário. Este artigo apresenta de uma forma sucinta o funcionamento dos resfriadores de placas e de feixe tubular encontrados a bordo, comparando-os entre si. Porém, o principal enfoque é dado no resfriador de feixe tubular do tipo Box Cooler, dando uma noção de seu principio de funcionamento, aplicabilidade, características estruturais, além de seus principais inconvenientes e as soluções adotadas, finalizando com as suas vantagens mais notadas para as embarcações. Para tal, foram utilizadas pesquisas em livros, manuais, artigos de revistas científicas digitail, bem como monografias relacionadas sobre o assunto. A abordagem é expositiva, contém figuras e uma tabela que ajudam na compreensão do assunto abordado.

Palavras-chave: Arrefecimento. Box Cooler. Marinha do Brasil. Resfriador. Trocador de calor.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da construção naval vem se adequando cada dia que passa com as necessidades que surgem no mercado. Com isso surgem maquinários mais modernos, navios mais velozes, que consigam transportar mais carga ou que consigam realizar sua função qualquer que ela seja. Para isso, os sistemas auxiliares devem acompanhar tal desenvolvimento, não podendo ser responsáveis pela inoperação da embarcação.

Quando pensamos em todos os sistemas de um navio, deve-se imaginar inúmeros. Porém existem três principais que devemos nos atentar como protagonistas a bordo. São eles o sistema de combustível, o de lubrificação e o de arrefecimento. Neste trabalho tratamos do arrefecimento e o que hoje temos de mais viável em termos operacionais e financeiros. Ele é chamado de resfriador Box Cooler. Porém, uma pergunta que podemos fazer é por que deve

ser utilizado este resfriador? Ele realmente é mais vantajoso comparado aos atuais que encontramos a bordo?

Procurando responder a tal questionamento, optou-se por estruturar o trabalho em Trocador de calor em navios, Box Coolers, Inconvenientes do Box Cooler e sua solução, Vantagens do resfriador Box Cooler e Conclusões. Assim, será possível conhecer os principais motivos de se acreditar que este tipo de resfriador tem grande chance em se difundir tanto entre embarcações pequenas quanto nas maiores. A ideia principal com isso é de propagar e compreender tal sistema de arrefecimento presente no mercado marítimo.

1 TROCADORES DE CALOR EM NAVIOS

Neste capítulo será apresentada qual função dos trocadores de calor no sistema de arrefecimento a bordo de navios, dando ênfase nos resfriadores, além de apresentar os principais modelos utilizados atualmente, com suas características estruturais e de funcionamento para futura comparação com Box Coolers.

1.1 A função do sistema de arrefecimento

Para o completo funcionamento de um navio, deve-se lembrar que não são apenas os motores ou propulsores os únicos responsáveis pela sua operacionalidade. Existem diversos sistemas que atuam diretamente e indiretamente na embarcação que fazem ser possível o cumprimento de sua função com máxima segurança e de acordo com os requisitos determinados pelos fabricantes. Os principais sistemas de bordo são o sistema de combustível, o de óleo lubrificante, o de arrefecimento e o de ar comprimido. Todos tem sua importância em uma praça de máquinas, mas daremos enfoque neste trabalho ao sistema de arrefecimento dos motores de combustão interna (MCI).

Sem arrefecimento, os motores de combustão interna não conseguiriam funcionar corretamente. Todos os motores de bordo precisam operar em uma temperatura ideal. Se as temperaturas estiverem muito abaixo do recomendado, as peças ficarão retraídas, ocasionando o aumento das folgas, prejudicando o rendimento do motor, bem como a vida útil de suas peças. Se a temperatura estiver acima do recomendado, as peças estarão dilatadas, o que aumenta consideravelmente o atrito das partes móveis, desgastando rapidamente tais

peças. Logo, o arrefecimento tem a função de manter a temperatura adequada de trabalho, resfriando apenas o necessário para o correto funcionamento de cada motor.

Com isso, há a grande necessidade de equipamentos que exerçam tal função a bordo, chamados de trocadores de calor. Esses equipamentos são instalados a bordo para diminuir a temperatura de um fluido que está recebendo calor de uma fonte geradora de energia térmica e que são chamados de resfriadores. Existem também trocadores de calor que fazem com que o fluido tenha sua temperatura aumentada; é a transmissão efetuada no trocador chamado de aquecedor. Há um outro que faz com que o vapor, após haver sido utilizado para efetuar um trabalho, retorne à fase líquida; estes são denominados condensadores. Porém, são os resfriadores que possuem a essencial capacidade de retirar o calor dos motores de combustão interna em funcionamento. São utilizados para a água que resfria o motor e para o óleo lubrificante utilizado no sistema forçado de lubrificação, garantindo operação satisfatória do equipamento.

O resfriamento é alcançado de duas maneiras nos MCI: direta ou indireta. A maneira direta é feita através da circulação de água doce, óleo ou ar dentro do próprio motor. Esse fluxo retira o calor do motor e conseqüentemente aquece o fluido arrefecedor. Como tal fluido pertence a um sistema fechado, seu volume é contante. Isto porque não há disponibilidade abundante como no caso da água do mar. Logo, há a necessidade de resfriá-lo continuamente, possibilitando que continue exercendo sua função no sistema.

Neste momento se faz necessário um resfriamento indireto, que acontece no trocador de calor tipo resfriador. Nele há troca térmica entre a água do mar, que é abundante e pertence a um sistema aberto, e o fluido arrefecedor que saíu do motor, ou seja, dotado de maior energia térmica. Este processo de troca de calor também é contante e ininterrupta durante o funcionamento do motor.

1.2 Tipos de resfriadores

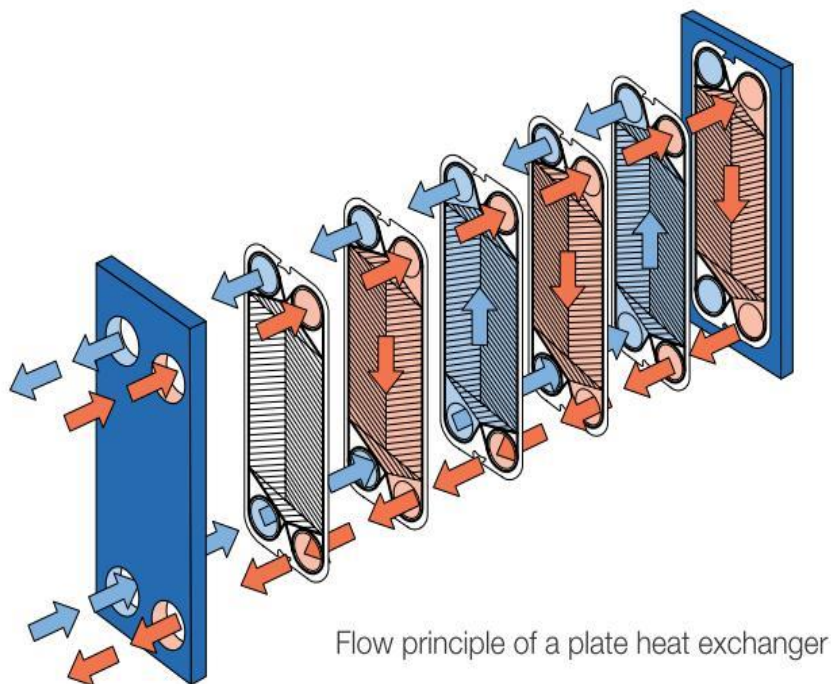
Com a evolução da indústria, foram surgindo diversos tipos de resfriadores que garantissem o funcionamento adequado dos motores principal e auxiliares, bem como o de emergência, sendo os mais empregados a bordo os de placas e os de feixe tubular.

1.2.1 Resfriador do tipo placas

Este resfriador consiste de finas placas planas que podem ser lisas ou com alguma forma de ondulação, unidas com um pequeno espaçamento entre elas, normalmente acompanhada por uma junta de borracha. Sua área de superfície é grande, e os cantos de cada placa retangular possuem uma abertura por onde haverá o fluxo de fluido por entre elas, extraindo o calor a medida que o fluido passa.

A troca de calor pode ser influenciada de acordo com a restrição de fluxo do fluido que entra no resfriador, podendo resfriar mais ou menos de acordo com sua necessidade.

Figura 1: Fluxo de calor no resfriador de placas



Fonte: <http://www.separationequipment.com/m6-plate-heat-exchanger.html>.

Devido as placas dos trocadores de calor terem uma grande área, elas são mais efetivas do que os trocadores de feixe tubular. Contudo, este trocador não pode suportar pressões muito altas, comparadas ao trocador tubular equivalente.

Figura 2: Resfriador de placas



Fonte: <https://www.sgp.no/produkter/varmevekslere/platevarmevekslere/platevarmeveksler-ts35/>.

Como há fluxo de água salgada dentro deste trocador de calor, um grande inconveniente é a constante limpeza que deve ser feita em suas placas, pois quando as placas estão sujas, isto diminui a eficiência da troca térmica, ocasionando em uma água de resfriamento do motor mais quente na saída do resfriador, e conseqüentemente, uma água com menos capacidade de retirar calor do motor, afetando seu funcionamento.

Esta constante abertura e fechamento acarreta em outros problemas, como possível dano nas placas ou de suas juntas de borracha durante a limpeza, ou mau fechamento na hora de montar as placas, o que ocasiona vazamento pelo resfriador, entre outros problemas.

A fim de retardar tal limpeza, é comum utilizar a bordo o método de “backflush”, que consiste em colocar um fluxo de água salgada no sentido oposto ao de projeto, a fim de retirar sujeira através deste jato de água.

1.2.2 Resfriador do tipo feixe tubular

São geralmente construídos com tubos circulares, existindo uma variação de acordo com o fabricante. São usados para aplicações de transferência de calor entre dois fluidos (uma ou duas fases). Nele esses fluidos, um dentro dos tubos e o outro dentro da carcaça, circulam

com diferentes condições de temperatura, realizando uma troca térmica através da superfície desses tubos, sem haver contato direto entre eles.

Figura 3: Resfriador do tipo feixe tubular



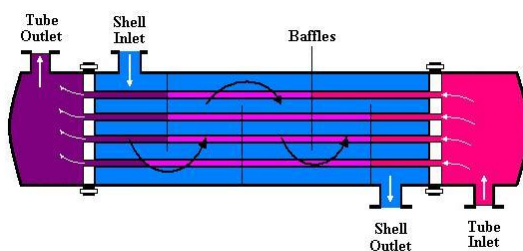
Fonte: <http://www.nauticexpo.com/prod/alfa-laval-mid-europe/product-30729-416231.html>.

Quando são projetados esses tipos de trocadores de calor, são tomadas precauções quanto a determinação da correta espessura dos tubos e também de seu diâmetro, para permitir a otimização da troca térmica.

Suas características quando comparadas aos resfriadores de placas são:

- a) operam em alta temperatura e pressão;
- b) taxa de fluxo de 2-1500 ton/h;
- c) menor características de transferência de energia térmica;
- d) menor queda de pressão através do trocador, em que o tamanho da bomba e sua pressão exigida é menor, havendo desta maneira menor custo operacional;
- e) maior área de superfície de troca de calor, acarretando um maior espaço exigido, acarretando um maior custo de capital.

Figura 4: Fluxo dentro do resfriador do tipo feixe tubular



Fonte: <http://classes.engineering.wustl.edu/mase-thermal-lab/me372b5.htm>.

Existem alguns modelos de trocadores de feixe tubular, como o carcaça e tubo, o duplo tubo e o serpentina, porém todos apresentavam os mesmos inconvenientes de possuírem muitas redes na praça de máquinas circulando água salgada. Inconvenientes que se traduziam em corrosão, desgastes e constante limpeza de seus tubos através de varetamento dos mesmo. Isto causa muitos problemas para os operadores, pois acarreta em muitos vazamentos e destruição de material, o que aumenta a frequência de manutenção e aumento de custos em sobressalentes para reparo, além do desperdício de tempo.

Eis que então surgiu um tipo de resfriador que elimina totalmente o inconveniente das redes água salgada para resfriamento dentro da praça de máquinas: o resfriador de feixe tubular do tipo Box Cooler.

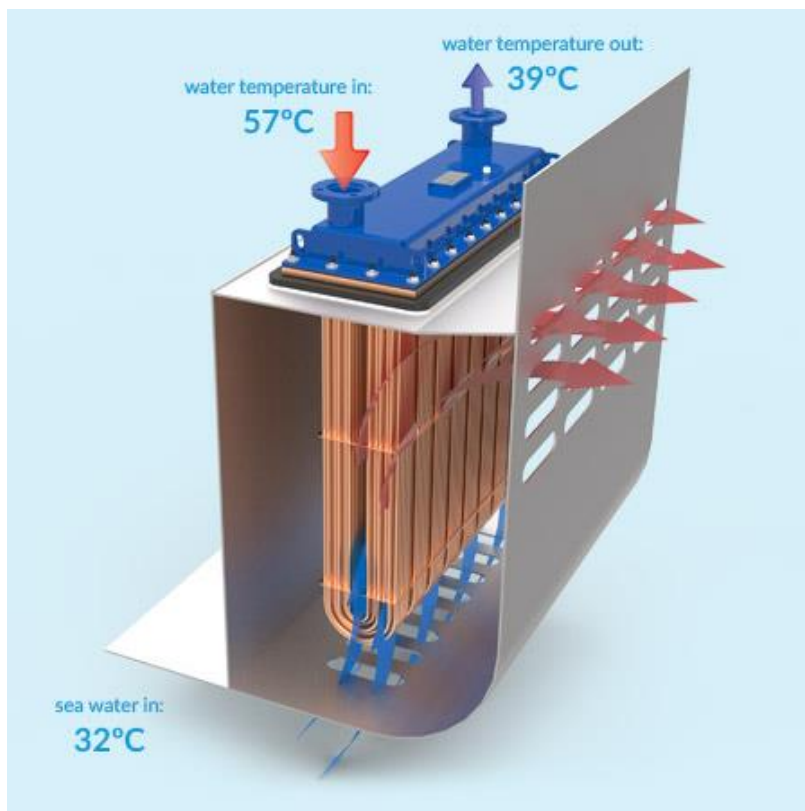
2 BOX COOLERS

Neste capítulo será apresentado o modelo de resfriador Box Cooler, com sua aplicabilidade, características estruturais, alguns tipos de modelos existentes e materiais que são utilizados para sua confecção.

2.1 Descrição do Box Cooler

O Box Cooler é um resfriador que vem sendo aplicado cada vez mais em embarcações marítimas ao redor do mundo. A água de resfriamento é forçada através de um feixe tubular em U, o qual é colocado dentro da caixa-mar, sendo que esta possui grades de entrada e saída para a água do mar. O calor é transferido dos tubos do Box Cooler para à água salgada. O efeito do resfriamento é alcançado através de um fluxo natural da água salgada na caixa-mar, ou através da circulação dela devido a velocidade da embarcação. Esta água que adentra, é aquecida e sobe, devido a diminuição da densidade com o aumento da temperatura, assim causando uma circulação natural ascendente, podendo-se dizer que acontece uma convecção natural neste sistema. As aberturas no topo e na parte de baixo da caixa-mar ajudam a direcionar e a concentrar o fluxo da convecção.

Figura 5: Fluxo de calor dentro do Box Cooler



Fonte: <http://www.lalco.com/assets/lalco/img/divisiones/naval/coolers-img-1.png>.

Segundo o fabricante de Box Coolers WEKA, o Box Cooler é um sistema compacto, com o circuito da água de resfriamento fechado, montado na caixa mar, confinado no interior do casco do navio e que oferece uma excelente proteção contra os obstáculos submersos. Cada Box Cooler é projetado de forma específica de acordo com as necessidades dos motores, do navio e das condições operacionais.

2.2 Aplicação do Box Cooler

De acordo com Młynarczak, é possível encontrá-la em embarcações pequenas, nas quais a potência útil normalmente não ultrapasse 5000kW, como por exemplo em rebocadores, barcaças, dragas, embarcações de apoio marítimo, navios pesqueiros, ferries, cargueiros, navios frigoríficos, carries, navios quebra-gelo, entre outros, que operem tanto em navegação interior quanto em mar aberto.

O sistema central de resfriamento com box coolers tem grande chance de se expandir para grandes navios futuramente. Isto irá depender principalmente da eficiência e da credibilidade dos sistemas de segurança do box cooler.

Esse resfriador pode ser usado para os seguintes equipamentos:

- a) motores principais (propulsão);
- b) grupo geradores;
- c) máquinas auxiliares;
- d) bow thrusters;
- e) propulsão elétrica;
- f) ar condicionado e frigorífica;
- g) compressores;
- h) hidráulicos;
- i) elétricos;
- j) bombas;
- k) caixa redutora;
- l) entre outros.

2.3 Tipos e modelos de Box Cooler

Existem diversos tipos de Box Coolers em relação a sua capacidade, podendo ser na sua versão arredondada (round version) para capacidades menores, ou na versão retangular, para capacidades maiores. É possível também interligar mais de um resfriador em série ou paralelo no caso da superfície de resfriamento não ser suficiente.

Figura 6: Modelos de Box Cooler



Fonte: http://decosta.it/wp-content/uploads/2015/07/Box_coolers.pdf.

Quando o espaço não é adequado a nenhum desses dois tipos citados anteriormente, um modelo pode ser adaptado para encaixar corretamente no casco do navio. Esse modelo é

chamado (stepped cooler).Ele é único e feito sob medida de acordo com a curvatura da embarcação.

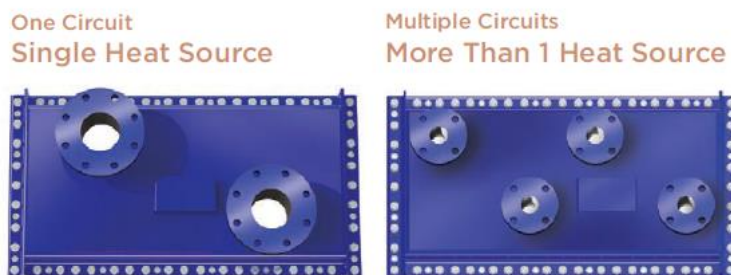
Figura 7: Stepped Box Cooler



Fonte: <http://www.wekaboxcoolers.com/cuni-9010-boxcooler/>.

Outra classificação é levando em consideração sua função. Um box cooler pode ser projetado para atender uma única ou múltiplas fontes de calor em sua unidade.

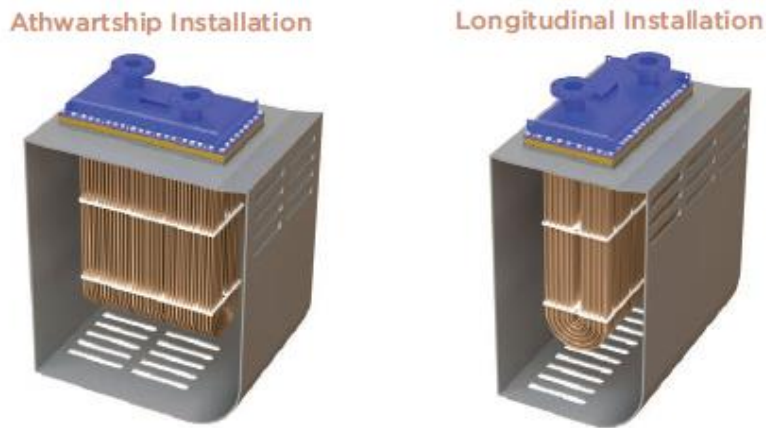
Figura 8: Box Cooler quanto ao número de fontes de calor



Fonte: <http://www.wekaboxcoolers.com/cuni-9010-boxcooler/>

Quanto a sua instalação, pode ser realizada de duas maneiras: transversal ou longitudinal.

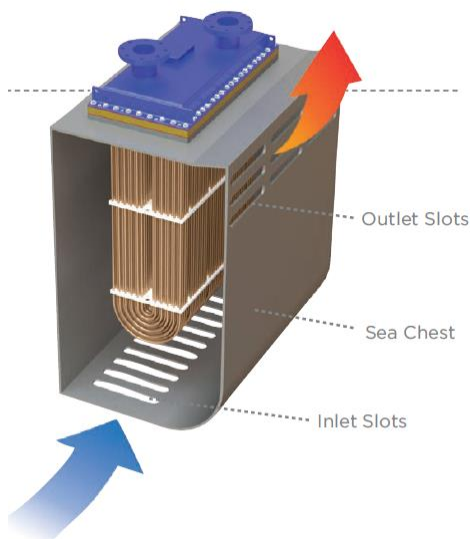
Figura 9: Box Cooler quanto ao sentido de instalação



Fonte: <http://www.wekaboxcoolers.com/cuni-9010-boxcooler/>

A caixa-mar requer um planejamento cuidadoso. As suas fendas de entrada e saída devem prover um fluxo constante de água do mar em torno dos tubos do box cooler. As fendas de entrada são localizadas na base da caixa mar e devem ser posicionadas transversalmente às fendas de saída localizadas lateralmente. As fendas de saída devem ser posicionadas o mais próximo possível do topo da caixa mar, além de sempre permanecerem abaixo da linha d'água, mesmo estando na condição de calado em deslocamento leve.

Figura 10: Posicionamento das fendas na caixa-mar



Fonte: <http://www.ship-technology.com/contractors/propulsion/weka-boxcoolers/weka-boxcoolers2.html>

2.4 Materiais e revestimentos do Box Cooler

Todos os materiais do Box Cooler, os quais entram em contato com a água do mar, são materiais resistentes à água salgada, logo há proteção contra esse tipo de corrosão. Alguns box coolers tem seu feixe de tubos feito de Alumínio Latão (CuZn20Al2), desenvolvidos com várias camadas de resinas fenólicas tratadas com calor formando um revestimento em toda superfície de contato com esta água.

Isto assegura:

- a) um isolamento galvânico confiável que protege a caixa-mar contra corrosão;
- b) uma amortecimento entre os tubos em U, diminuindo a fricção e a vibração que iriam danificá-los;
- c) eliminação de qualquer risco de depósito no fundo devido à corrosão.

Existem outros materiais que são utilizados para sua fabricação, como a liga de níquel-cobre, que será mostrada no próximo capítulo com maiores detalhes.

3 INCONVENIENTES DO BOX COOLER E SUA SOLUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados os principais inconvenientes e soluções encontradas pelos fabricantes para confirmar que o resfriador do tipo Box Cooler é o mais vantajoso atualmente comparado com os resfriadores de placas e os de feixe tubulares convencionais.

3.1 Como evitar as incrustações e a corrosão

Na maioria dos casos, o sistema de box cooler não tem a necessidade manutenção. Porém, dependendo da área em que a embarcação navega e das condições operacionais, incrustações biológicas devem ser levadas em consideração.

A implementação de medidas de controle local e internacional para prevenção contra poluição tem resultado um aumento considerável nos problemas associados às incrustações. Isto devido a redução de descarte tóxico da indústria e do tráfego marítimo, o que tem estimulado substancialmente o desenvolvimento em rios, estuários e águas costeiras.

Box Coolers são afetados pelas incrustações e pelo desenvolvimento de organismos animais, como algas, cracas, mexilhões, entre outros. E isto influencia diretamente a eficiência e a funcionalidade dele na troca de calor.

De acordo com a empresa GEA Bloksma, especialmente os crustáceos são um maior problema. Quando algumas bio-incrustações se estabelecem no box cooler, o efeito negativo na performance térmica é dificilmente notada. Apenas quando os feixes tubulares são totalmente cobertos com estas bio-incrustações, causando um bloqueio de fluxo da água do mar entre os tubos, que a performance térmica será notada. Devido ao revestimento externo dos tubos e do box cooler, incrustações e outros depósitos não precisam ser tão temidos.

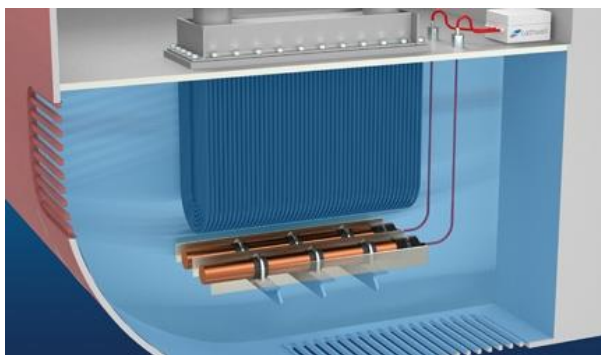
Contudo, para evitar o inconveniente das incrustações e da corrosão, surgiram algumas soluções:

3.1.1 Anti-incrustante eletrolítico – ICAF

O anti-incrustante eletrolítico, também chamado de ICAF (Impressed Current Anti Fouling), é um anti-incrustante por corrente impressa que tem como objetivo reduzir as incrustações marinhas, permitindo o cumprimento da função do resfriador na troca térmica. Isto se faz através da criação de um ambiente tóxico para esses seres indesejados com a utilização de íons de cobre dissolvidos a partir dos anodos de cobre instalados no sistema.

Barras de anodos de cobre são colocadas embaixo dos feixes tubular para prover uma distribuição uniforme dos íons de cobre para o Box Cooler. A unidade do sistema de controle mantém continuamente a correta corrente de saída a fim de obter quantidade suficiente de íons de cobre na água do mar que está ao redor do box cooler.

Figura 11: Posicionamento dos anodos



Fonte: <http://www.cathwell.com/ships/systems/electrolytic-antifouling/box-coolers/>

Segundo a GEA Bloksma, a toxicidade é apenas ativada durante um tempo limitado de quando o Cu^+ volta a ser Cu^{++} . Desta forma, quase não há consequências ao meio ambiente. Este sistema ICAF é baseado no mesmo princípio das tintas marítimas anti-incrustantes,

onde usam pigmentos de cobre para criar um meio tóxico. Tintas anti-incrustantes são ativas apenas onde as taxas de lixiviação do cobre excedem 10ppb por cm² por dia. Taxas similares são ativas com o sistema ICAF.

A manutenção do box cooler normalmente é considerada reduzida devido ao uso do anti-incrustante eletrolítico.

Existem dois métodos de montagem dos anodos. Eles podem ser colocados separados abaixo do box cooler ou integrados no projeto deste resfriador.

Figura 12: Métodos de montagem dos anodos



Fonte: http://decosta.it/wp-content/uploads/2015/07/Box_coolers.pdf

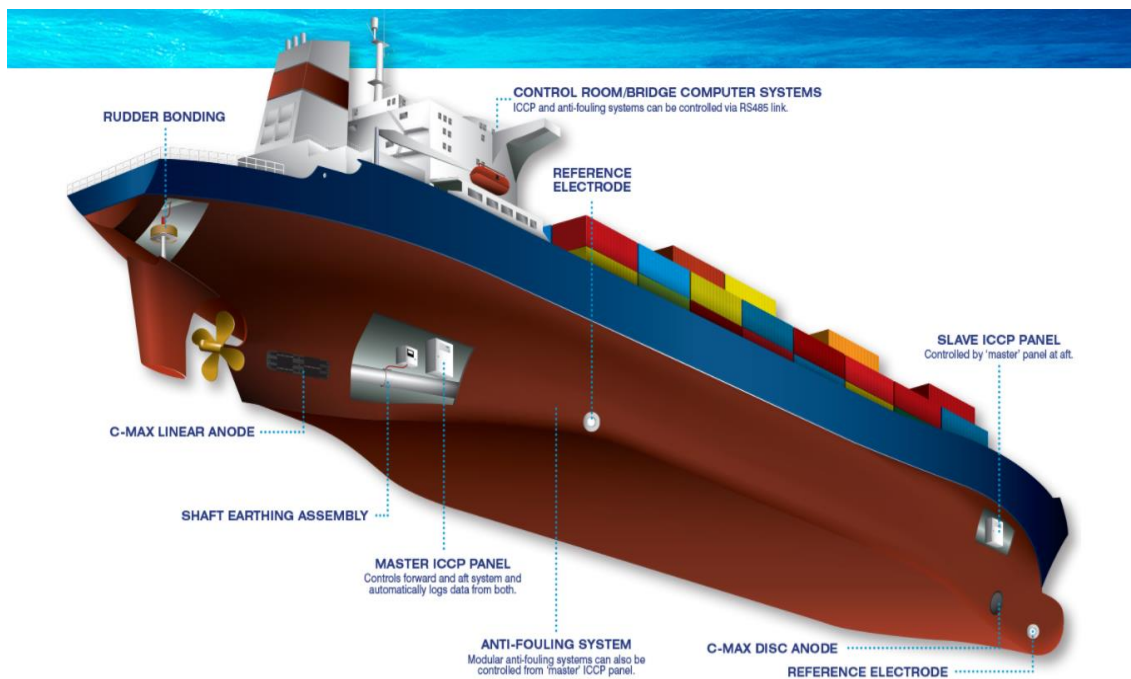
O projeto integrado, apresentam dois anodos que são montados dentro de um suporte, os quais são fixos no fundo do box cooler. Assim o conjunto de anodos é uma parte do box cooler.

Para a GEA Bloksma, a construção integrada tem muitas vantagens, pois não há instalações requeridas para a montagem dos anodos, cabeamento ou cabo de alimentação dentro da caixa-mar. Além de que o espaço necessário para esses anodos é muito reduzido.

3.1.2 Proteção catódica por corrente impressa – ICCP

Embora os revestimentos de casco modernos ofereçam alguma proteção contra a corrosão, eles não oferecem uma solução completa. Por esta razão, a maioria dos navios possui com um sistema de proteção catódica por corrente impressa, o ICCP (Impressed Current Cathodic Protecting).

Figura 13: Estrutura do ICCP



Fonte: <http://www.cathelco.com/iccp-overview/how-does-an-iccp-system-work/>.

Usando um arranjo de anodos montados no casco e células de referência conectadas a um ou mais painéis de controle, o sistema produz uma corrente externa maior para conseguir suprimir a atividade eletroquímica natural na superfície molhada do casco.

Isso elimina a formação de células de corrosão agressivas na superfície das placas e evita os problemas que podem existir onde os metais dissimilares são introduzidos através da soldagem ou trazidos à proximidade por outros componentes, como hélices.

Os sistemas são projetados para automatizar a saída de corrente enquanto a saída de tensão é variada. Isso permite que o nível de proteção seja mantido à medida que a resistividade da água do mar se altera. Em um sistema com anodo de sacrifício, o aumento da resistividade da água do mar pode causar uma diminuição na saída do ânodo e uma diminuição da quantidade de proteção fornecida. Com a proteção dos sistemas ICCP não há redução na faixa de água do mar padrão.

Uma característica essencial dos sistemas ICCP é que monitoram constantemente o potencial elétrico na interface mar / casco e ajustam cuidadosamente a saída para os ânodos em relação a isso. Portanto, o sistema é muito mais eficaz e confiável do que os sistemas com anodo de sacrifício, onde o nível de proteção é desconhecido e incontrolável.

Ao instalar tal sistema, consegue-se fazer economias significativas nos custos de manutenção do casco, além de obter reduções nos custos de combustível ao ter uma superfície lisa do casco. Além disso, o sistema salvaguardará o investimento do proprietário e assegurará uma maior segurança através da maior integridade do casco, inclusive haverá maior preservação do sistema de resfriamento do tipo box cooler.

3.1.3 Liga cobre-níquel

Existem box-coolers que são construídos usando tubos 90/10 de cobre-níquel sem revestimento. Esta liga não requer revestimento de proteção ou sistema ICAF (corrente impressa) devido a sua inerente resistência à corrosão da água salgada e de suas capacidades naturais anti-incrustantes.

Figura 14: Comparação entre tupos de materiais diferentes



Fonte: http://www.wekaboxcoolers.com/boxcooler_advantages/.

A proteção contra o desenvolvimento biológico marinho se faz necessário. Na imagem acima há uma comparação entre os tubos feitos do tradicional alumínio-cobre com revestimento (à esquerda) e os tubos de cobre-níquel sem revestimento (à direita). Facilmente é percebido a vantagem da capacidade natural de anti-incrustante dos tubos de cobre-níquel contra o desenvolvimento marinho.

3.1.4 WEKA Guard™ e WEKA Protector™ Tipo T

Para proteger os boxcoolers sem revestimento contra potencial corrosão por corrente de fuga, existem dispositivos criados por uma empresa que fabrica box coolers, denominados *WEKA Guard™* e *WEKA Protector™ Tipo T*, sendo utilizados em centenas de navios que navegam em águas doces ou salgadas com aplicações no mundo inteiro.

Esse equipamento ajuda a minimizar o dano potencial das unidades e do casco do navio contra a corrosão galvânica e fuga da corrente elétrica. O *WEKA Protector™ Tipo T* permite que o cobre-níquel mantenha suas capacidades anti-incrustantes, protegendo os tubos contra desenvolvimento marinho. É recomendado que seja instalado um dispositivos por boxcooler.

Figura 15: *WEKA Protector™ Tipo T* e *WEKA Guard™*



Fonte: <http://www.wekaboxcoolers.com/cuni-9010-boxcooler/>

O *WEKA Guard™* é um dispositivo que irá proteger o boxcooler contra correntes de solda durante a construção do navio. Vale ressaltar que para soldar o box cooler no local deve-se utilizar o mais moderno e melhor profissional de solda, além de métodos adequados e confiáveis. O *WEKA Guard™* deve ser conectado aos tubos/chapas e também no casco do navio durante seu processo de construção enquanto a energia elétrica ainda não está sendo disponível. Se não for instalado tal dispositivo, o box cooler pode sofrer severa corrosão devido as correntes de solda. Uma vez que a embarcação esteja completa e pronta para entrega, esse dispositivo é substituído pelo *WEKA Protector™*, que realiza a proteção de forma definitiva.

3.1.5 Ar comprimido

Uma outra maneira de tentar evitar ou mesmo minimizar os problemas das incrustações, alguns navios em seu próprio projeto possuem como auxílio redes de ar comprimido que jateiam ar na própria caixa-mar em direção às superfícies dos tubos do box cooler com o objetivo de limpá-lo externamente. Esta pequena ação ajuda na remoção de qualquer impecílio que esteja depositado nestes tubos tão necessários à troca de calor, logo, importante que estejam sem incrustações. Esta rotina pode ser semanal e retarda significativamente a necessidade de limpeza do box cooler por mergulhadores ou em estaleiro no dique seco.

4 VANTAGENS DO RESFRIADOR BOX COOLER

Neste capítulo serão apresentadas as mais relevantes vantagens que este tipo de resfriador possui, lembrando sempre que nenhum sistema é perfeito, porém mostrando tamanho é sua eficiência comparado aos demais analisados.

4.1 Principais vantagens

Para Młynarczak, a maior vantagem do sistema de resfriamento central que utiliza box coolers é a eliminação do bombeamento da água salgada pelo sistema de resfriamento. A água do mar causa muitos problemas relacionados com a corrosão dos elementos do sistema, como as redes e tubulações. Além do que, o fluxo desta água pode se tornar restrito devido ao ingresso de animais, vegetações ou sólidos encontrados nela, o que diminuem a eficiência do resfriamento.

Neste sistema não há a necessidade de bombas de água salgada, filtros, válvulas ou tubulações, que são as partes mais sensíveis aos transtornos das manutenções. Assim, o sistema central de resfriamento com box coolers é mais simples e mais barato. O custo com este sistema para um navio com potência de saída de 5000 kW, comparado ao sistema de resfriamento tradicional é em torno de 40% menor (tabela 1). Os valores na tabela 1 estão em dólar. Além disso, os custos operacionais são menores devido à ausência das bombas de água salgada, filtros/ralos e tubulações. Com isso, não é preciso realizar limpeza, reparo ou substituição desses elementos. Sem contar que os custos com o sistema da água de resfriamento que passa no interior do feixe tubular do box cooler é menor.

Tabela 1: Comparação entre custos dos sistemas de arrefecimento

| | Central cooling system with box coolers | Traditional central cooling system |
|----------------------------|---|------------------------------------|
| Sea water circuit | | |
| Plants | 3700 | 23,300 |
| Valves | 6000 | 33,100 |
| Pipelines | 15,100 | 101,700 |
| Fresh water circuit | | |
| Plants | 63,000 | 32,200 |
| Valves | 4100 | 2400 |
| Pipelines | 33,700 | 19,300 |
| SUM | 125,600 | 212,000 |
| DIFFERENCE | 86,400 | |

Fonte: http://repository.scientific-journals.eu/bitstream/handle/123456789/572/22_ZN_AM_36%28108%29_2_Mlynarczak.pdf?sequence=1.

Outra vantagem do box cooler é a melhor adaptação à navegação sob condições de gelo. Se fosse utilizado o sistema de resfriamento tradicional, pedaços de gelo poderiam bloquear o filtro/ralo da água do mar. E isto causaria um fluxo restrito ou até mesmo parada total desta água. Isso se tornaria impossível durante o movimento normal do navio em um lago congelado, por exemplo. Para um sistema com box coolers esse problema não existe, uma vez que não há filtros nem ralos.

Algumas vantagens notórias observadas são:

- a) Completa eliminação das redes de água salgada, para resfriamento, dentro da praça de máquinas, deixando tais redes menos propensas a corrosão e vazamentos;
- b) Custos com sobressalente são menores devido a nenhuma manutenção necessária pela tripulação que necessite de troca de peças;
- c) Maior espaço disponível na praça de máquinas, já que os box coolers estão localizados na caixa-mar;
- d) Box coolers não são suscetíveis à corrosão e menos sensíveis à incrustações;
- e) Possui a proteção do casco, já que se encontra no interior deste;
- f) Requer comprimento menor de tubulações, acarretando em custo menor;
- g) Economiza energia elétrica, pois não necessita há necessidade de acionamento de bombas de água salgada, que são inexistentes nesse sistema.

Vale lembrar que nenhum sistema é perfeito, porém este é um que proporciona mais vantagens do que desvantagens.

Corrosão e incrustações sempre estão presentes em sistemas de resfriamento, porém como foi dito, consegue-se driblar de forma eficiente tais inconvenientes com sistemas como ICAF, ICCP, WEKA Guard™ e WEKA Protector™, ar comprimido e até mesmo utilizando materias na fabricação do resfriador que auxiliem na redução deste problema, como foi mencionado.

CONCLUSÃO

Diante dos argumentos apresentados, podemos entender o quão necessário é o sistema de arrefecimento em um navio, dando importância ao seu perfeito funcionamento para operação. Apresentamos as razões que justificam o uso dos Box Coolers, mesmo apresentando problemas inerentes ao meio em que opera, soluções foram encontradas para cotornar toda dificuldade. Foram encontrados obstáculos como incrustações e corrosão, que insistem em importunar os resfriadores das embarcações. Mas a evolução da indústria e o desenvolvimento tecnológico apareceram com sistemas como o ICAF, ICCP, WEKA Guard™ e WEKA Protector™, ar comprimido, entre muitos outros, que resolvem todos inconvenientes antes presentes no arrefecimento em que a água salgada se faz presente.

Em resumo, indiscutivelmente o resfriador Box Cooler é o mais indicado por sua performance, sua aplicabilidade, sua economia nos custos e facilidade operacional. É esperado encontrar mais frequentemente este tipo de resfriador a bordo das embarcações.

THE HEAT EXCHANGER TYPE BOX COOLER

ABSTRACT

On board the ships and platforms, there is the necessity of cooling the equipments which produces heat during their operation, like the case of main engines, auxiliary engines and emergency engines. For this reason, it is installed on board coolers to reduce the temperature of functioning, fulfilling the customers operational specifications of each machinery. This article presents in a succinct way the functioning of plate coolers and shell and tubes coolers founded on board, comparing one with another. However, the main emphasis is done to one type of shell and tubes cooler, the Box Cooler, providing a notion of its functioning principle, applicability, structural characteristics, in addition to the main disadvantages and the solutions taken, finalizing with its noticeable advantages for the vessels. Thus, it was used the resources in books, manuals, articles of scientific digital periodicals, as well monographs related of this subject. It is an expositive approach with pictures and one chart that helps the understanding of the subject discussed.

Keywords: Cooling. Box Cooler. Brazilian Navy. Cooler. Heat exchanger.

REFERÊNCIAS

MLYNARCZAK, Andrzej. Box coolers as an alternative to existing coolings systems. **Scientific Journals**, Szczecin, v. 36, n. 108, p. 131-136. 2013.

SOBRINHO, Maurício. Aplicabilidade do trocador de calor tipo tubo e carcaça dimensionada para uso de bordo. 2012. 50f. Monografia (Aperfeiçoamento para Oficiais de Máquinas) – Centro de Instrução Almirante Graça Aranha, Rio de Janeiro, 2012.

WEKA BOXCOOLERS B. V. *Installation manual for Weka boxcoolers*. Netherlands: FERNSTRUM, 2016. 26 p.

_____. *Installation manual for Weka Guard*. Netherlands: FERNSTRUM, 2016. 7 p.

_____. *V. Weka boxcooler product catalog*. Netherlands: FERNSTRUM, 2014. 5 p.

_____. *Your advantage*. Netherlands: FERNSTRUM, 2016. 2 p.

KELVION. *Box coolers Bloksma k-type*. Sweden: KELVION HOLDING, 2017. 4 p.

SPERRE. *Performance through superior technology. The smart alternative to box coolers.* Norway, 2011. 12 p.

BRASIL, Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. Ensino Profissional Marítimo. **Equipamentos e Máquinas de Sistemas Auxiliares.** 1 Ed. Rio de Janeiro, 1999.