Archive of SID

مقاله

سامانه‌های تثبیت موقعیت دینامیکی

عباس رهی، استادیار دانشکدهٔ فنی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز
abbasrahi@yahoo.com
امیر مقیسه، کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، عضو باشگاه پژوهشگران جوان
amirmoghiseh@gmail.com

چکیده
ازجمله مهم‌ترین مسائل موجود درحوزهٔ فعالیت‌های فراساحلی، به‌ویژه در آب‌های عمیق، حفظ موقعیت و تعادل شناورها و تثبیت موقعیت آنهاست. به‌گونه‌ای که در طول انجام فعالیت، شناور در موقعیت تعریف‌شده، به‌منظور انجام مطمئن و کامل فعالیت، باقی بماند. سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی[1] در حقیقت یک سرومکانیزم کنترلی است که براساس اطلاعات محیطی و عملیاتی وظیفهٔ هدایت و نگه‌داری وضعیت شناور را برعهده دارد. در مقالهٔ حاضر این سامانهٔ پیچیدهٔ کنترلی به اختصار معرفی و المان‌ها، دامنهٔ استفاده و مزایا و معایب آن بررسی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شناور، سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی، پیشرانه، درجهٔ آزادی، سیستم مرجع موقعیت

مقدمه

امروزه افزایش رجوع و استفاده بشر از منابع و محیط فراساحل منجر به ظهور تجهیزات و ابزارهای نوینی شده است که قابلیت غلبه بر شرایط دشوار آن محیط را دارند. از مهم‌ترین مسائل مطرح در حوزهٔ فعالیت‌های فراساحلی حفظ موقعیت شناور در حین انجام فرایند است. این مهم در آب‌های کم‌عمق می‌تواند با استفاده از اتصالات مکانیکی بین شناور و بستر دریا، از قبیل کابل‌ها و شمع‌ها محقق شود، اما در آب‌های عمیق به سیستم‌هایی نیازمندیم که به اتصال به بستر دریا نیازی نداشته باشند. تثبیت موقعیت دینامیکی یک فناوری جدید برای رفع این نیاز مهم است. این فناوری با افزایش نیاز به منابع جدید نفت و گاز در آب‌های عمیق، در دههٔ ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ میلادی، به‌وجود آمد. اکنون بیش از ۱۰۰۰ شناور مجهز به سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی، به‌منظور حفاری و بهره‌برداری از منابع نفت و گاز به‌خصوص در آب‌های عمیق، وجود دارد. نیازهای جدید در حوزهٔ فعالیت‌های فراساحل و الزامات فعالیت در آب‌های عمیق و شرایط محیطی سخت نیز سبب شده است که این فناوری پیشرفت

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

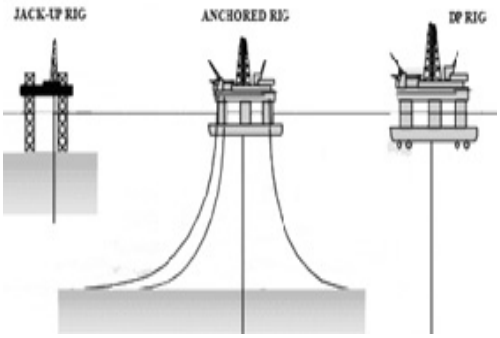
چشم‌گیری داشته باشد و دامنهٔ کاربرد آن از حوزهٔ نفت و گاز پا فراتر گذارد. از جمله کاربردهای این سیستم عبارت‌اند از:

- حفاری میادین نفت و گاز
- بهره‌برداری از منابع انرژی فراساحلی
- نصب خطوط لولهٔ دریایی
- نصب و تعمیر کابل‌های دریایی
- تسطیح و آماده‌سازی بستر
- هیدروگرافی بستر دریا
- نصب تجهیزات سرچاهی و سایر تأسیسات زیرسطحی
- جابه‌جایی تجهیزات سنگین دریایی
- لایروبی بستر
- انجام عملیات و فعالیت‌های تحقیقاتی
- استخراج و فعالیت‌های معدن‌کاری زیر بستر
- دفن لوله در بستر
- حفاری کانال در بستر دریا
- سکوهای شناور پرتاب موشک
- فرودگاه‌های شناور[۲]
- تعمیر و نگه‌داری کشتی‌ها و شناورها
- سوختگیری و انتقال کشتی به کشتی

ناگفته نماند که توسعهٔ رایانه‌ها، سیستم‌های مرجع موقعیت و سایر تجهیزات جانبی مربوطه نیز سبب شده‌اند که قابلیت اعتماد به سامانه‌های تثبیت موقعیت دینامیکی روز بروز افزایش یابد، اما به موازات اعتمادپذیری، پیچیدگی‌های سیستم نیز بیشتر شده است.

تثبیت موقعیت

شناورها و تجهیزات فعال در حوزه‌های فراساحلی از روش‌های متفاوتی برای حفظ موقعیت و پایداری خود استفاده می‌کنند. مهم‌ترین این روش‌ها استفاده از مهاربندی با استفاده از زنجیر و کابل، شمع‌کوبی و استفاده از پایه و سیستم تثبیت موقعیت دینامیکی است. این روش‌ها برای فرایند حفاری در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. روش‌های گوناگون تثبیت موقعیت

از جمله مزایای سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی عبارت است از:

۱. شناور به تنهایی قابلیت حرکت دارد و بدون نیاز به یدک‌کش کار می‌کند. (شکل ۲)
۲. استقرار و تنظیم موقعیت آن به‌منظور انجام عملیات بسیار سریع و آسان است.
۳. قابلیت مانور بالایی دارد.
۴. نسبت به تغییر شرایط محیطی سریع پاسخ می‌دهد.
۵. قابلیت تغییر سریع متناسب با پارامترها و نیازهای فعالیت وجود دارد.
۶. در هر عمقی می‌تواند فعالیت کند.
۷. با افزایش سرعت عملیات، انجام فعالیت‌های کوچک را از نظر اقتصادی توجیه‌پذیر می‌کند.
۸. به‌واسطهٔ عدم حضور و برخورد سیستم‌های مهاربندی، امکان آسیب‌دیدن تجهیزات روی بستر را از بین می‌برد.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

۹. امکان برخورد مهاربندی با سایر شناورها، کشتی‌ها و سکوها را از میان خواهد برد.
۱۰. قابلیت جابه‌جایی سریع به محل فعالیت جدید را فراهم می‌کند.

از جمله معایب این سیستم نیز می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. سرمایهٔ اولیه و هزینه‌های عملیاتی را افزایش می‌دهد.
۲. بروز نقص در سیستم‌های آن می‌تواند موجب از دست‌دادن موقعیت و ایجاد خسارت شود.
۳. مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.
۴. پیشرانه‌های آن برای قواص‌ها و روبات‌های زیرسطحی خطرناکند.
۵. کنترل موقعیت آن به عملکرد اپراتور و تجهیزات کنترلی وابسته است.
۶. نیاز به نیروی انسانی را به‌منظور هدایت و نگه‌داری تجهیزات افزایش می‌دهد.

شکل ۲. شناور DP به تنهایی قابلیت جابه‌جایی دارد[۱]

با توجه به این موارد می‌توان دریافت که سیستم‌های تثبیت موقعیت دینامیکی همیشه نمی‌توانند بهترین راه‌حل برای کنترل شناورها باشد. اما گاهی استفاده از این سیستم‌ها تنها راه‌حل ممکن به‌شمار می‌روند. مثلاً اگر بستر دریا پوشیده از خطوط لولهٔ دریایی، تجهیزات زیرسطحی، تأسیسات سرچاهی و ... باشد، امکان نصب شمع و پایه و یا استقرار سیستم‌های مهاربندی کابلی و زنجیری وجود نخواهد داشت و تثبیت موقعیت دینامیکی در چنین وضعیتی تنها راه‌حل ممکن به‌شمار خواهد رفت.

اصول تثبیت موقعیت دینامیکی

تثبیت موقعیت دینامیکی مجموعه‌ای از سیستم‌های کنترلی است که توانایی ناوبری دقیق شناورها را فراهم می‌آورد. به‌طور خلاصه می‌توان تثبیت موقعیت دینامیکی را سامانهٔ خودکاری دانست که موقعیت شناور را به تنهایی و از طریق پیشرانه‌های تحت فرمان خود حفظ می‌کند. البته این سیستم‌ها قابلیت ناوبری دقیق و دنبال‌کردن مسیر مشخص (تعقیب خط) را نیز به‌دست می‌دهند. بنابراین می‌توان دو وظیفهٔ اساسی این سامانه‌ها را تثبیت موقعیت[۳] و هدایت شناور[۴] دانست.

هر شناور بر روی سطح دریا دارای سه درجهٔ آزادی چرخشی و سه درجهٔ آزادی جابه‌جایی خطی است. درجات آزادی خطی شناور عبارت‌اند از: حرکت طولی[۵] (جلو و عقب)، حرکت عرضی به طرفین[۶] و حرکت عمودی[۷].

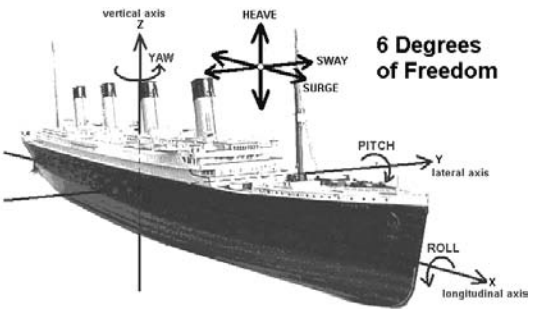
درجات آزادی زاویه‌ای شناور نیز عبارت‌اند از: چرخش حول محور طولی[۸]، چرخش حول محور افقی[۹] و چرخش حول محور قائم[۱۰] (شکل ۳).

سامانه‌های تثبیت موقعیت دینامیکی وظیفهٔ حفظ و کنترل درجات آزادی انتقالی طولی و عرضی و درجهٔ

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

آزادی چرخشی حول محور قائم براساس مختصات و نقاط تعریف‌شده توسط کاربر را برعهده دارند. مبنای تعیین انحراف خطی و انتقالی شناور مقایسهٔ وضعیت شناورها با تعدادی مرجع موقعیت تعریف‌شده می‌باشد و به‌منظور تخمین انحراف‌های زاویه‌ای می‌بایست از تعدادی قطب‌نمای ژیروسکوپی[11] استفاده کرد. انحراف و اختلاف میان وضعیت شناور و موقعیت از پیش تعریف‌شده به‌عنوان خطا در نظر گرفته می‌شود و سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی وظیفهٔ اصلاح و کاهش این خطا را تا مقدار صفر بر عهده دارد.



شکل ۳. درجات آزادی یک شناور تثبیت موقعیت دینامیکی

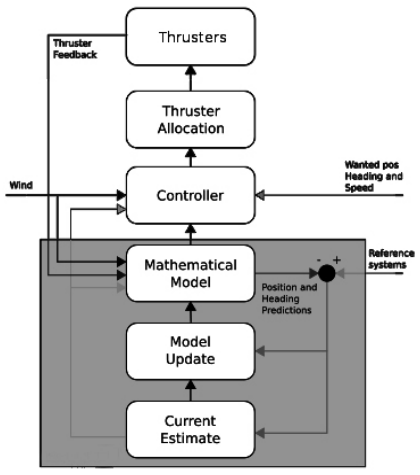
به‌طور کلی شناورهای سطحی در معرض نیروهای گوناگونی همچون نیروی باد، امواج، جریان، جزرومد، پیشرانه‌ها و ... قرار دارند. اگر هر یک از این نیروها به‌صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری باشند، سامانه می‌تواند، با تعریف مدل مناسبی از شناور، اثر نیرو را پیش‌بینی کند و دستور لازم جهت پیشگیری از انحراف شناور را صادر کند. از جمله نیروهایی که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری‌اند نیروی باد و یا کشش کابل‌ها در شناورهای لوله‌گذار می‌باشد. در این موارد حسگرهای گوناگون می‌توانند میزان نیروهای اعمالی را به سامانه انتقال دهند و براساس مدل موجود از شناور در واحد پردازشگر، نیروی موردنیاز به‌منظور جبران و حذف جابه‌جایی تعیین شده و از طریق پیشرانه‌ها اعمال می‌گردد و بدین ترتیب شناور موقعیت خود را حفظ می‌کند. اما اگر نیروهای وارد بر شناور دقیقاً قابل تخمین نباشند، شناور موقعیت خود را از دست می‌دهد و جابه‌جا می‌شود.

همان‌طور که اشاره شد، میزان انحراف شناور از وضعیت خود توسط نقاط مرجع و نیز قطب‌نمای ژیروسکوپی اندازه‌گیری می‌شود و نیروی موردنیاز جهت اصلاح این خطا از طریق پیشرانه‌ها اعمال می‌گردد. بنابراین سامانهٔ تثبیت موقعیت از طریق دو فرایند موقعیت شناور را حفظ می‌کند:

۱. تخمین نیروهای وارده و اثر آنها با استفاده از مدل شناور و جلوگیری از وقوع انحراف موقعیت.

۲. جبران انحراف واقع‌شده در اثر نیروهای غیرقابل اندازه‌گیری از قبیل امواج، جریان و... .

نیروی موردنیاز به‌منظور ممانعت از انحراف (فرایند نخست) و نیروی موردنیاز جهت جبران انحراف و جابه‌جایی (فرایند دوم) از طریق کنترل پیشرانه‌ها تأمین می‌گردد. شکل ۴ بلوک دیاگرام سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی را نمایش می‌دهد.



شکل ۴. بلوک دیاگرام سامانهٔ ثبیت موقعیت دینامیکی[۲]

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

اجزای سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی

رایانه‌ها: پردازشگرهایی که وظیفهٔ اجرای برنامه‌ها و نرم‌افزارهای تثبیت موقعیت و همچنین انجام محاسبات گوناگون را برعهده دارند، به‌عنوان کامپیوترهای DP شناخته می‌شوند. این کامپیوترها امکان فعالیت چندگانهٔ پردازشگرها و استفاده از روش‌های کنترلی دقیق را فراهم می‌آورند و از مزایای قابل توجه آنها می‌توان به افزایش مرتبهٔ زائدی (اضافگی)[۱۲] سیستم اشاره کرد. کامپیوترهای DP بسته به نوع زائدی موردنیاز در آرایش‌های منفرد، دوگانه و یا چندگانه قرار می‌گیرند.

در تمامی شناورهای تثبیت موقعیت رایانه، تنها انجام وظایف مربوط به تثبیت موقعیت را برعهده دارد. سیستم‌های منفرد فاقد زائدی هستند. یک سیستم دوگانه دارای یک مرتبهٔ زائدی خواهد بود که در صورت بروز اشکال در رایانهٔ مرکزی، رایانهٔ دوم به‌صورت خودکار جایگزین آن می‌شود و براساس داده‌ها و سوابق ذخیره‌شده در خود، موقعیت شناور را حفظ می‌کند. به همین ترتیب با افزایش تعداد رایانه‌ها در ترکیب سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی، مرتبهٔ زائدی آن متناسب با افزایش ملاحظات ایمنی موردنیاز بیشتر خواهد شد.

میز کنترل: امکان دریافت و ارسال اطلاعات را برای اپراتور فراهم می‌آورد. معمولاً انواع سوئیچ‌ها، کلیدها، صفحه‌های نمایشگر و هشداردهنده‌ها روی میز کنترل نصب می‌شوند. معمولاً در سامانه‌هایی که طراحی مناسبی دارند، صفحهٔ کنترل سیستم مرجع موقعیت و صفحهٔ کنترل پیشرانه‌ها نزدیک میز کنترل سامانهٔ تثبیت موقعیت قرار گرفته‌اند. نمونه‌ای از میز فرمان در شکل ۵ نمایش داده شده است.

شکل ۵. نمونه‌ای از میز فرمان سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی[۳]

سیستم مرجع موقعیت[۱۳]: معمولاً تعداد مراجع موقعیت به میزان خطرات و خسارات احتمالی در طول فرایند، مرتبهٔ زائدی موردنیاز براساس الزامات ایمنی فعالیت، مراجع در دسترس و نوع آنها و آثار ناشی از حذف یک یا چند مرجع موقعیت وابسته است.

انواع گوناگونی از مراجع موقعیت توسط سامانه‌های تثبیت موقعیت دینامیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند که از مهم‌ترین آنها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف: سامانهٔ تعیین موقعیت تفاضلی جهانی[۱۴]

ب: مهاربندی متصل به بستر دریا[۱۵]

ج: سامانه‌های هیدروآکوستیک[۱۶]

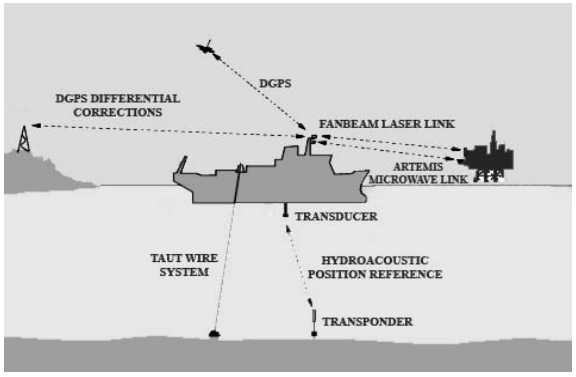
د: سامانه‌های لیزری و ماکروویو[۱۷]

مهم‌ترین عامل در طراحی سیستم مرجع موقعیت، قابلیت اعتماد آن است. هر یک از روش‌های فوق دارای مزایا و معایبی هستند. بنابراین دستیابی به اطمینان مناسب مستلزم استفاده از ترکیب روش‌های فوق است[۴]. شکل ۶ سیستم‌های مرجع موقعیت مورد استفاده در سامانهٔ DP را به‌صورت شماتیک نمایش می‌دهد.

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶. سیستم‌های مرجع موقعیت

مرجع هدایت و راهبری شناور: همان‌طور که اشاره شد، عامل مؤثر در هدایت شناور، کنترل انحرافات زاویه‌ای آن است. برای این منظور از یک یا چند قطب‌نمای ژیروسکوپی متناسب با مرتبهٔ زائدی موردنیاز استفاده می‌شود. زمانی که از سه قطب‌نمای ژیروسکوپی استفاده می‌شود، دو قطب‌نما از مدار خارج‌اند، زمانی که قطب‌نمای اصلی دچار نقص می‌شود، آن دو قطب‌نما به‌صورت خودکار جایگزین قطب‌نمای اصلی می‌شوند.

مراجع محیطی: سه دستهٔ اصلی نیروهای وارد بر شناور که موجب انحراف آن از موقعیت استقرار خود می‌شوند، عبارت‌اند از:

- نیروی امواج
- نیروی جریان
- نیروی باد

سامانهٔ DP امکان جبران نیروهای ناشی از برخورد امواج را به‌صورت فعال ندارد و سیستم پس از وقوع انحراف توسط این نیروها نسبت آن را اصلاح می‌کند. در برخی از شناورها تجهیزات جریان‌سنجی به‌منظور تخمین سرعت جریان در نظر گرفته شده است که متناسب با قابلیت اطمینان موردنیاز از قیمت بالایی برخوردار است. همان‌طور که اشاره شد، سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی، قابلیت کنترل درجات آزادی چرخش طولی و افقی و همچنین جابه‌جایی عمودی را ندارد. اما به‌منظور تعیین میزان انحراف مرکز جرم شناور می‌بایست میزان جابه‌جایی و دوران هر یک از این درجات آزادی تعیین شود. به این منظور سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی به حسگر مرجع قائم[۱۸]، واحد مرجع عمودی[۱۹] یا واحد مرجع حرکت[۲۰] مجهز است. این مرجع حرکتی با استفاده از شتاب‌سنج‌های خطی زوایای انحراف را محاسبه می‌نماید[۵].

اخیراً سیستم‌هایی مجهز به دو یا چند گیرنده DGPS استفاده می‌شوند که دارای آنتن‌هایی با فاصلهٔ مشخصی از یکدیگرند. حسگرهای دینامیکی و استاتیکی GPS اطلاعات مربوط به موقعیت شناور، هدایت آن، چرخش طولی و افقی و نیز حرکت عمودی شناور را به‌دست می‌دهند. تمامی شناورهای DP مجهز به حسگرهایی جهت تعیین سرعت و جهت وزش باد هستند. خروجی این حسگرها به‌منظور محاسبهٔ نیروی وارده به شناور و تخمین انحراف ناشی از آن، براساس مدل موجود از شناور در واحد پردازشگر، به سامانهٔ DP ارسال شده، بر این اساس اقدامات جبران‌سازی موردنیاز پیش از انحراف شناور از طریق پیشرانه‌ها انجام می‌شود.

سیستم‌های قدرت: یکی از اصلی‌ترین واحدهای فعالیت شناورها سیستم‌های تولید و توزیع توان است. این سیستم وظیفهٔ تأمین قدرت موردنیاز پیشرانه‌ها و نیز تجهیزات و المان‌های سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی را برعهده دارند. بخش قابل توجهی از توان تولیدی در شناورها توسط پیشرانه‌ها

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

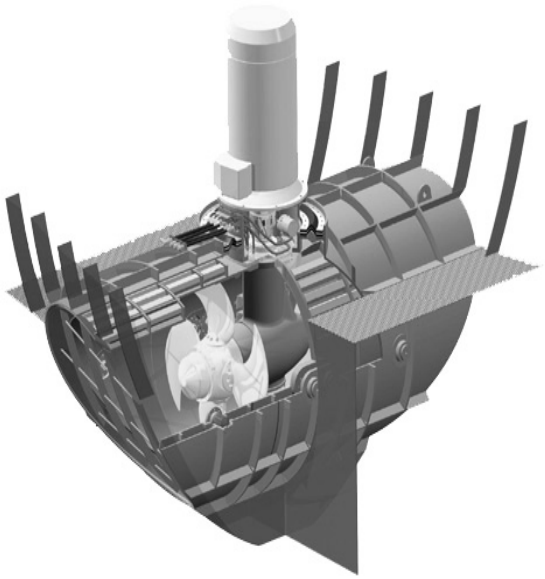
استفاده می‌شود. واحد قدرت شناور باید این قابلیت را داشته باشد که ضمن جلوگیری از مصرف غیرضروری سوخت و انرژی، قابلیت عکس‌العمل سریع در مقابل تغییرات لحظه‌ای توان موردنیاز را براساس شرایط محیطی و کارکردی فراهم آورد. به عبارت دیگر سامانهٔ DP متناسب با شرایط محیطی و تغییرات آن نیاز به نیروی محرکه متفاوت و طبعاً تولید انرژی متغیر خواهد داشت. به‌منظور جلوگیری از بروز وقفه و خسارات احتمالی در حین فرآیند، سامانه‌های DP مجهز به یک واحد برق اضطراری[۲۱] نیز می‌باشند.

سیستم‌های رانش‌دهنده: پیشرانه‌ها قابلیت حرکت و عکس‌العمل شناور را در مقابل تغییرات محیطی فراهم می‌کنند. به‌طور کلی سه دسته از پیشرانه‌ها در شناورهای DP مورد استفاده قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از پیشرانه‌های اصلی[۲۲]، پیشرانه‌های تونلی[۲۳] و پیشرانه‌های افقی[۲۴]. شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ نمونه‌هایی از این پیشرانه‌ها را نمایش می‌دهند.

علاوه بر تعیین مناسب انواع و تعداد پیشرانه‌های موردنیاز، آرایش مناسبی از پیشرانه‌ها نیز به‌منظور افزایش کارآیی سامانهٔ تثبیت موقعیت دینامیکی لازم است. مثلاً یک شناور تک‌بدنهٔ معمولی دارای شش پیشرانه است که سه تای آنها در سینهٔ شناور و سه تای دیگر در انتهای آن نصب می‌شوند. پیشرانه‌های جلوی شناور معمولاً از نوع تونلی است. همچنین دو یا سه پیشرانهٔ تونلی نیز در سینهٔ شناور تعبیه می‌شوند. پیشرانه‌های افقی در زیر شناور و انتهای آن نصب شده، برای تعیین جهت شناور به کار می‌روند. همچنین این پیشرانه‌ها قابلیت چرخش و اعمال نیروی رانش در جهت‌های گوناگون را دارا می‌باشند. پیشرانه‌های اصلی نیز، مانند آنچه در شناورهای معمولی رایج است، وظیفهٔ تأمین حرکت اصلی شناور را برعهده دارند.

در برخی از شناورهای تثبیت موقعیت دینامیکی، از جمله شناورهای لوله‌گذار S-Lay، رانش و حفظ موقعیت شناور برعهدهٔ سیستم مهاربندی و کابل‌های کششی است. به‌عبارت دیگر کنترل کشش در کابل‌ها براساس فرمان‌های صادره توسط واحد پردازش منجر به حفظ موقعیت شناور می‌شود.

شکل ۷. نمونه‌ای از پیشرانه‌های اصلی[۶]



شکل ۸. نمونه‌ای از پیشرانه‌های تونلی[۷]

Email: mech_mag@yahoo.com
Website: www.isme.ir
www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۹. نمونه‌ای از پیشرانه‌های افقی[۷]

نتیجه‌گیری

سامانه‌های تثبیت موقعیت دینامیکی از پیچیده‌ترین سرومکانیزم‌های کنترلی مورد استفاده در فعالیت‌های فراساحلی به‌شمار می‌روند. در این مقاله مشخص شد که طراحی و ساخت چنین سامانه‌ای به دانش در حوزهٔ هیدرودینامیک، کنترل، الکترونیک، مکانیک سازه و هیدرودینامیک نیاز دارد. امروزه استفاده از این سامانه‌ها رویای دستیابی بشر به اعماق اقیانوس‌ها و دریاها و انجام عملیات گوناگون در آن را عملی کرده و میدان گسترده‌ای از قابلیت‌ها را به‌وجود آورده است.

مراجع

[1] http://www.imo.org

[2] Benjamin K. Golding, *Industrial Systems for Guidance and Control of Marine Surface Vessels*, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, 2004.

[3] http://www.imca-int.com

[4] Subrata Chakrabarti, *Handbook of offshore engineering*, Elsevier, New York, 2003.

[5] http://www.marin-technology.com

[6] www.veripos.com

[7] www.shippower.com

پی‌نوشت

1. Dynamic Positioning System (DPS)
2. Floating Airport
3. Positioning
4. Heading
5. Surge
6. Sway
7. Heave
8. Roll
9. Pitch
10. Yaw
11. Gyrocompass
12. Redundancy
13. Position Reference System
14. Differential Global Positioning System (DGPS)
15. Taut Wires
16. Hydro acoustics
17. Microwave or Laser Systems
18. Vertical Reference Sensor
19. Vertical Reference Unit
20. Motion Reference Unit
21. UPS
22. Main Screw Propellers
23. Tunnel Thrusters
24. Azimuth Thrusters

★ ★ ★

www.SID.ir