سال پنجم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۷، ص ص ۱۹ - ۲۷
فصل‌نامه علمی – ترویجی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو
Jrenew.ir
مقاله
تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۷
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۱۰

مروری بر تکنولوژی سیستم نوسانگر موج ارشمیدس به عنوان مبدل انرژی امواج

محمد حسین جهانگیر[۱،*] و زهرا خزاعی[۲]

۱ - استادیار گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
۲ - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران
* تهران، پست الکترونیکی نویسنده عهده‌دار مکاتبات : mh.jahangir@ut.ac.ir

چکیده

امروزه به علت گرانی قیمت نفت و در دسترس نبودن آن برای همه جوامع و همچنین بحث گرمایش زمین و مسایل زیست محیطی، انرژی‌های تجدیدپذیر توجه روزافزون یافته‌اند. یکی از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی امواج دریا می‌باشد که می‌تواند نقش مهمی در آینده انرژی داشته باشد. جهت بهره‌برداری از انرژی امواج دریا نیاز به استفاده از تجهیزاتی مدرن تحت عنوان مبدل انرژی امواج وجود دارد تا بتوان انرژی موج را به انرژی الکتریکی تبدیل کرد. یکی از مبدل‌های انرژی موج دریا، نوسانگر موج ارشمیدس می‌باشد. این مبدل یک تجهیز کاملاً مستغرق و ثابت در بستر دریاست، نسبت به انواع دیگر مبدل‌ها، سیستم ساده‌ای دارد، همچنین میزان توان تولیدی آن قابل توجه است و میزان تعمیرات آن نیز بسیار کمتر است. در این مقاله اصول عملکرد و روند پیدایش مبدل نوسانگر موج ارشمیدس از ابتدای ایجاد ایده تا به امروز بیان شده و نتایج آخرین تحقیقات و نمونه‌های ساخته شده این مبدل مورد بررسی قرار گرفته است. در آخر نیز میزان توان تولیدی این نوع مبدل با دیگر مبدل ها مقایسه شده و توان تولیدی آن بسته به نوع کنترل کننده آن محاسبه شده است.

کلیدواژگان: انرژی‌های تجدیدپذیر، نوسانگر موج ارشمیدس، مبدل انرژی موج، جاذب نقطه‌ای

A review of Archimedes Wave Swing converter technology as a wave energy converter

Mohammad hossein Jahangir[1], Zahra Khazaee[2]

1- Assistant Professor, Renewable Energies and Environment Dep., Faculty of New Sciences & Technologies, University of Tehran
2- Student of Master, Faculty of New Sciences & Technologies, University of Tehran
* Tehran, Iran, mh.jahangir@ut.ac.ir

Abstract

Today, renewable energy is becoming increasingly important due to the high cost of oil and its unavailability for all communities, as well as the issue of global warming and environmental issues. One of the sources of renewable energy is the energy of the waves of the sea, which can play an important role in the future of energy. In order to exploit the energy of the waves, there is a need to use modern equipment called the wave energy converter to change the wave energy into electrical energy. One of the wave energy converter is Archimedes wave swing. This converter is a well-submerged, fixed-bed equipment in the seabed and it has a simple system compared to other types of converters. its production capacity is remarkable, and its maintenance rates are much lower. In this paper principles of performance and its emergence from the beginning of the idea until now, and the results of the latest research and samples made by this converter have been investigated. In the end, the power output of this type of converter is compared with other converters, and its output power is calculated depending on its controller.

Keywords: Renewable energy, Archimedes wave swing, wave energy converter, point absorber

مقدمه

امروزه به علت گرانی قیمت نفت و در دسترس نبودن آن برای همه جوامع و همچنین بحث گرمایش زمین و مسایل زیست محیطی، انرژی‌های تجدیدپذیر توجه روزافزون یافته‌اند]۱[.

تخمین زده می‌شود مصرف انرژی در سال ۲۰۴۰ حدود ۳۰ درصد بیشتر از ۲۰۱۰ باشد و در سال ۲۰۴۰ مصرف الکتریسیته بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی جهان باشد. لذا جهان باید به سمت بهره‌برداری از منابع غیر فسیلی حرکت کند به عبارت دیگر باید به فکر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، پایدار و توسعه تکنولوژی آن بود [۲].

یکی از این انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی دریایی است. انرژی حاصل از دریا به شکل‌های مختلف شامل انرژی جز و مد، انرژی باد فراساحلی و انرژی موج قابل استحصال است]۳[.

در دهه ۱۹۸۰ تحقیقات در زمینه یک سیستم اقتصادی که بتواند انرژی امواج را به انرژی الکتریکی تبدیل کند آغاز شد. از همان زمان بودجه‌های زیادی برای تحقیقات در نظر گرفته شد. مبدل نوسانگر موج ارشمیدس[1] یکی از سیستم‌های جاذب انرژی امواج است که طی سال‌های اخیر به پیشرفت‌های خوبی دست یافته و از نظر مکانیزم، سیستم ساده‌ای دارد و به علت اینکه کاملا در بستر دریا ثابت می‌شود از خطرات امواج سهمگین در امان است لذا نیاز به تعمیرات کمتری دارد و همچنین توان تولیدی آن نیز در مقایسه با انواع دیگر مبدل ها قابل توجه است [۴].

در این مقاله اصول عملکرد مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، روند تحقیقات انجام شده طی ۲۰ سال گذشته، نمونه های آزمایشی ساخته شده و مقایسه این سیستم با سیستم‌های دیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

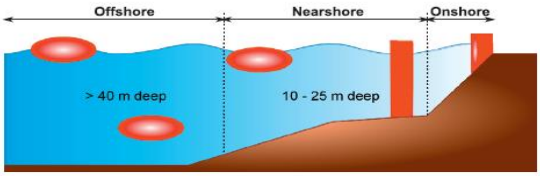
مطالب به طور کلی در چهار بخش ارائه شده است. در بخش اول، مبدل‌های انرژی امواج به طور کلی و مبدل نوسانگر موج ارشمیدس به طور جزئی، در بخش دوم سیر تاریخی ساخت مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، و در بخش سوم روابط توان و مقایسه آن با مبدل‌های دیگر بیان شده است.

مبدل‌های انرژی موج

انواع مختلفی نزدیک به هزار نمونه اولیه از مبدل‌های انرژی در طی سالیان گذشته ساخته شده اند[۵]. نمونه‌های توسعه‌یافته از مبدل‌های موج براساس سه مشخصه مکان پروژه، سایز دستگاه و اصول عملکرد آنها دسته‌بندی می‌شوند [۶].

مکان پروژه

در مورد مکان پروژه، مبدل ها در سه وضعیت در دریا نصب می‌شوند که شامل در ساحل، نزدیک ساحل و فراساحل می‌شود [۶]. شکل ۲، فاصله مبدل‌ها در حالت‌های مختلف از ساحل را نشان می‌دهد.



شکل ۲ تقسیم بندی مبدل‌های انرژی موج بر اساس فاصله از ساحل [۶]

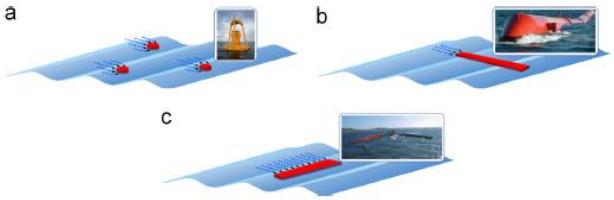
ابعاد مبدل‌های موج

براساس ابعاد و اندازه، مبدل‌های انرژی امواج به سه دسته تضعیف‌کننده، جاذب نقطه‌ای و پایان‌دهنده تقسیم می‌شوند.

الف. جاذب نقطه‌ای: در این سیستم‌ها اندازه دستگاه مبدل انرژی امواج در مقایسه با طول موج بسیار کوچک است به این صورت که انرژی موج را در تمامی جهات جذب کرده و به حرکت مکانیکی تبدیل می‌کند [۶].

ب. تضعیف‌کننده: در این سیستم‌ها دستگاه مبدل انرژی امواج استراکچر-های طولانی دارد که نسبت به طول موج بزرگ هستند و حرکت آن‌ها در راستای حرکت موج است [۶].

ج. پایان‌دهنده: این سیستم‌ها بسیار مشابه مبدل‌های تضعیف‌کننده هستند با این تفاوت که حرکت آنها در راستای عمود بر حرکت موج است[۶]. شکل ۳ [۶] شماتیکی از مبدل‌ها را در حالت‌های فوق نشان داده است.



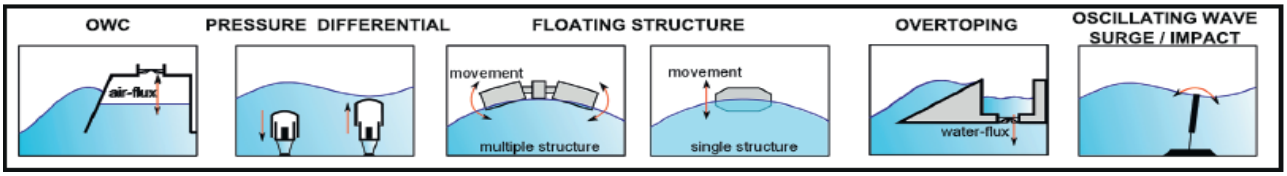
شکل۳ دسته بندی مبدل‌های انرژی موج بر اساس ابعاد و اندازه [۶]

اصول عملکرد مبدل

دسته بندی مبدل‌ها بر اساس اصول عملکرد به طور خلاصه و شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است.

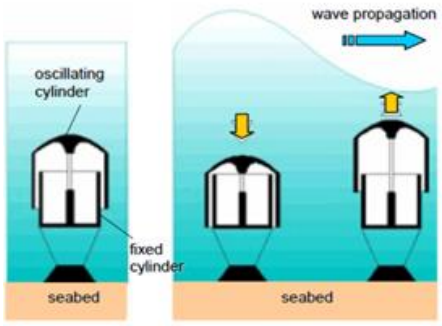
نوسانگر موج ارشمیدس

نوسانگر موج ارشمیدس یکی از مبدل‌های انرژی امواج است که در سال‌های اخیر در مقیاس کامل ساخته و تست شده است. شکل ۵ اصول عملکرد این سیستم را بیان می‌کند [۷].



شکل۴ دسته بندی مبدل‌های انرژی موج بر اساس عملکرد مبدل [۶]

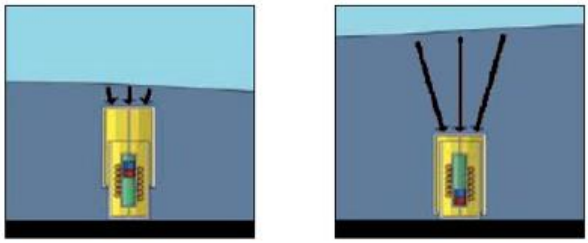
[1] Archimedes Wave Swing



شکل ۵ شماتیکی از مفهوم مبدل نوسانگر موج ارشمیدس]۷[

مبدل نوسانگر موج ارشمیدس یک مبدل انرژی موج فراساحلی و کاملا مستغرق می‌باشد که در عمق بالای ۴۰ متر زیر دریا قرار می گیرد و از نوع مبدل جاذب نقطه‌ای است به این معنی که سایز آن در برابر طول موج قابل صرف‌نظر کردن است و از نظر عملکرد در دسته مبدل‌های با اختلاف فشار قرار می‌گیرد. دو قسمت اصلی دارد یک بخش سیلو که یک محفظه استوانه‌ای پر از هوا و در بستر دریا ثابت شده است و شناور که یک استوانه متحرک در بالای سیلو است [۱].

همانطورکه در شکل ۶ مشاهده می‌شود در اثر تغییر در فشار موج شناور حرکت می‌کند. وقتی که مبدل تحت قله موج است شناور به پایین حرکت می‌کند و هوای داخل مبدل نوسانگر موج ارشمیدس را فشرده می‌کند و وقتی مبدل تحت تغار موج است فشار کاهش می‌یابد و در نتیجه هوا منبسط شده و شناور به بالا حرکت می‌کند و این حرکت بالا و پایین شناور توسط ژنراتور خطی به برق تبدیل می‌شود]۱[.



شکل ٦ اصول عملکرد نوسانگر موج ارشمیدس [۸]

تاریخچه پیدایش مبدل نوسانگر موج ارشمیدس

ایده سیستم نوسانگر موج ارشمیدس از سیستم فرد گاردنر و هانس وان بروگل بوجود آمد [۷].

در دهه ۱۹۸۰ تحقیقات در زمینه یک سیستم اقتصادی که بتواند انرژی امواج را به انرژی الکتریکی تبدیل کند آغاز شد. شمار زیادی از شرکت‌ها زمان و هزینه بالایی را برای جستجو اختصاص دادند و تقریباً بدون استثنا پروژه‌ها ناامیدکننده بود. در این زمان یک تیم از محققان اروپایی به موفقیت‌هایی رسیدند [۴].

سیستم نوسانگر موج ارشمیدس متفاوت از بقیه مبدل‌ها بود به این دلیل که این سیستم مثل یک زیردریایی عمل می‌کرد و کاملاً در بستر دریا نصب شده و تولید توان می‌کرد در حالی که بقیه مبدل‌ها با حرکت روی سطح دریا، انرژی الکتریکی تولید می‌کردند [۴].

اولین گرایش به مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در سال ۱۹۹۴ در یک شرکت جدید به نام تکنولوژی تیم ورک بی وی پدیدار شد و یک سال بعد یک نمونه آزمایشی در مقیاس۱:۲۰ ساخته و با امواج منظم در یک همکاری مشارکتی بین مرکز تحقیقات انرژی هلند و شرکت دلفت هیدرولیک تست شد [۹].

در سال ۱۹۹۵ پرتغال به عنوان مکانی برای تست مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در اندازه واقعی انتخاب شد. منطقه شمالی آن نه فقط به عنوان نقطه‌ای از منبع انرژی بلکه به علت نزدیکی به ساحل و شبکه ملی برق در نظر گرفته شد. وجود تعداد زیادی بنادر و کشتی سازی در این منطقه می‌توانست برای اهداف تعمیرات و از منظر حیاتی مفید باشد [۹].

سال بعد یک نمونه با هدف تولید توان ۲ مگاوات براساس سیستم کلی مورد ارزیابی قرار گرفت. این کار توسط شرکت های ای سی ان، موسسه برتر تکنیکو، شرکت دلفت هیدرولیک، تکنولوژی تیم ورک و تعدادی از شرکای صنعتی آنها هدایت می‌شد [۹].

یک نمونه تست از مدلی با مقیاس۱:۲۰ در ابتدای سال ۱۹۹۷ با امواج نامنظم انجام شد. با آنالیز عملکرد سیستم و شبیه‌سازی آن با کامپیوتر مشخصه هایی برای تنظیم و انتقال الکتریسیته ایجاد شد. شکل ۷ [۹] نمونه آزمایشی را نشان می‌دهد [۹].

شکل ۷ نمونه مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در مقیاس۱:۲۰ در سال ۱۹۹۴ [۹]

اواسط سال ۱۹۹۷ شرکت بی وی با اتصال به شرکت‌های تیم ورک، ای سی ان و دلفت هیدرولیک و یک سرمایه گذار خصوصی تأسیس شد. مجددا یک سال بعد تست‌های آزمایشگاهی در مرکز تحقیقات اچ ام آر سی در کرک ایرلند، با مقیاس ۱:۵۰ انجام گرفت و منجر به تغییرات کوچکی بر روی اجزای ویژه‌ای مثل سیستم انتقال قدرت شد و در نهایت به ظرفیت نسبی ۲ مگا وات به عنوان هدف برای نمونه‌ای که در فراساحل پرتغال نصب شده بود رسید. شکل ۸ نمونه موردنظر را نمایش می‌دهد [۹].

شکل ۸ نمونه مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در مقیاس۱:۵۰ در سال ۱۹۹۷ [۹]

این سیستم قطری در حدود ۲۵ متر و ارتفاع ۳۰ متر داشت و شامل یک محفظه هوای شناور بود که به یک پایه غیرمتحرک متصل شده و در بستر دریا قرار می‌گرفت. حرکات موج محفظه هوا را بالا و پایین می‌برد و حرکت عمودی به طور مکانیکی به انرژی الکتریکی تبدیل می‌شد [۱۰].

بسته به میزان فشرده‌سازی هوا انتظار می‌رفت یک مبدل موج بتواند ۹-۶ مگاوات انرژی در سال تولید نماید و بدلیل این که دستگاه تحت تأثیر باد و جزو و مد قرار ندارد انرژی خروجی ثابت خواهد بود و به‌راحتی قابل مدیریت می‌باشد. این پروژه آغاز فرایند تحول نوسانگر موج ارشمیدس برای تجاری سازی بود. نمونه در مقیاس کوچکتر ساخته و تست شد [۱۰].

اوایل سال ۱۹۹۹ طراحی مبدل نوسانگر موج ارشمیدس آماده بود و تجهیزات آن از چند شرکت سفارش داده شد. دستگاه آزمایشی در رومانی با دو اصلی که به مفهوم اولیه اضافه شد: یک پل موقت به عنوان ساپورت برای عملیات غوطه‌ورسازی و یک ساپورت راهنمای عمودی برای مقاومت در برابر حرکت شناور مونتاژ شد [۹].

در نوامبر سال ۲۰۰۱ مبدل نوسانگر موج ارشمیدس برای تست به فراساحل پرتغال انتقال یافت و اولین تلاش‌ها برای غوطه‌وری انجام شد. مسأله پایداری حین تست پدیدار شد و عملیات به حالت تعلیق درآمد. مبدل به بندر لکسیکو بازگردانده شد [۹].

تلاش بعدی یک سال بعد صورت گرفت و آن هم ناموفق بود. اما بالاخره با جمع‌آوری تجربیات و اصلاح کار، نمونه نهایی برای غوطه ور کردن در دریا در سال ۲۰۰۴ به دریا انتقال یافت. دستگاه آزمایشی برای حالت‌های مختلف دریا و شرایط عملیات با کمک چند کد توسعه‌ای شامل شبیه‌سازی زمان کل سیستم توسط تیمی در ایستگاه مستقر در ساحل آگسادورا و توسط اعضای تیمی در قایق پشتیبانی نزدیک نمونه آزمایشی تست شد [۹].

شکل ۹ نمونه آزمایشی را نشان می‌دهد که در می سال ۲۰۰۴ در لکسوس لنگر انداخت. هر دو استراکچر راهنما برای شناور و پل موقت (به همراه ۴ عدد برج در گوشه‌ها که در عملیات غوطه‌ورکردن کاملاً از آب پر می‌شوند) در شکل به وضوح دیده می‌شود [۹].

شکل ۹ نوسانگر موج ارشمیدس ساخته شده در مقیاس واقعی، سال ۲۰۰۴ [۹]

شکل ۹ نمونه ساخته شده را نشان می‌دهد که بخش مرکزی آن شناوری با قطر ۹/۵ متر است. حرکت ارزیابی شده ۷ متر است و سرعت ارزیابی شده ۲/۲ متر و توان پیک ماکزیمم ۲ مگاوات است. یک سیستم ترمز باید در دستگاه جهت دمپ کردن حرکات در حالت محدودیت یا خرابی ژنراتور لحاظ شود [۹]. جدول شماره ۲ ابعاد اصلی و وزن اجزای مبدل نوسانگر موج ارشمیدس را نشان می‌دهد [۹].

جدول ۲ ابعاد اصلی و وزن اجزای مبدل نوسانگر موج ارشمیدس نمونه آزمایشی در سال ۲۰۰۴ [۹]

وزن(تن)	عرض(متر)	ارتفاع(متر)	قطر(متر)	طول(متر)	شرح قطعه
۴۰۰	---	۲۱	۹/۵	---	شناور
۱۲۰۰	۲۸	۵/۵	---	۴۸	پل موقت
۱۲۰	---	۳۳/۵	---	---	استراکچر راهنما

ژنراتور خطی سیستم نوسانگر موج ارشمیدس توانایی ترمز در برابر نیروی ۱ مگاوات را دارد و زمانی که نیروی امواج زیاد شود ترمز سیستم فعال می‌شود[۷]. سیستم ترمز شامل دو استوانه است که روی هم می‌لغزند و آب در تله افتاده را با فشار از یک اوریفیس عبور می‌دهند. با تغییر سطح اوریفیس نیروی ترمز می‌تواند در سطح مطلوب تنظیم شود. در طول تست همواره سطح اوریفیس در حد مینیمم نگه داشته شد (ترمز آب بسته شد) و بنابراین دمپینگ کاملاً خوب انجام گرفت [۹].

قسمت متحرک دستگاه جرمی در حدود ۴۰۰ تن دارد و جرم کل دستگاه شامل پل معلق تقریباً ۷۰۰۰ تن است (که از آن حدود ۵۰۰۰ تن فقط مربوط به تانک‌های شن و ماسه است) [۹].

ابعاد کل دستگاه ۴۸ x ۲۸ x ۳۸ متر می‌باشد که بیش‌تر حجم آن برای تانک های تعادل که برای عملیات غرق کردن دستگاه لازم است، در نظر گرفته می‌شود. حجم هوای دستگاه در موقعیت نیمه تقریباً ۳۰۰۰ مترمکعب است و می‌تواند با پمپ کردن آب به داخل و خارج تغییر کند. حجم کل آبی که می‌تواند پمپ شود ۱۵۰۰ مترمکعب است و اجازه می‌دهد که دوره طبیعی دستگاه در محدودهٔ ۱۳- ۷ ثانیه تنظیم شود [۷].

در همین زمان شرکت انرژی موج اسکاتلند، شرکت انرژی اقیانوس را با حمایت دولت اسکاتلند در جهت توسعه و تجاری‌سازی مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در سال ۲۰۰۴ تاسیس نمود. این شرکت در آلنس نزدیک اسکاتلند قرار دارد. شرکای صنعتی آن شامل شرکت های پوسیدون، گلوبال مارتیم و بوش رکسروت می‌شود. در فوریه ۲۰۰۷ بودجه زیادی از طرف دولت اسکاتلند به این شرکت اختصاص یافت [۱۱].

اولین دستگاه مبدل نوسانگر موج ارشمیدس توسط این شرکت در اورکنی در سال۲۰۰۷ نصب شد با هدف ایجاد یک پارک ۱۰۰ عددی برای تامین برق ۲۰۰۰ خانه به ارزش ۲۵۰ میلیون یورو [۱۲]. هر دستگاه به قطر ۱۳ متر، ارتفاع ۳۵ متر و وزن ۸۰۰ تن توانایی تولید ۱ مگاوات الکتریسیته دارد [۱۳]. شکل ۱۰ [۱۲] تصویری از این مبدل را نشان می‌دهد.

شکل۱۰ مدلی از مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در سال ۲۰۰۷ [۱۲]

اطراف خط ساحلی انگلستان در غرب اورکنی و غرب جزیره لویز به عنوان مکانی عالی برای ایجاد مزرعه تجاری امواج به جهت تولید ۲۴ ساعته برق از فشار امواج در نظر گرفته شد. هر دستگاه نوسانگر موج ارشمیدس به بستر دریا مهار شد و با کابل هایی در عمق ۲۰ متری از سطح دریا قرار گرفت. با حرکت سیلندر بالایی (شناور) بر روی سیلندر پایینی و حرکات بالا و پایین شناور در اثر حرکت امواج، برق ۱ مگاوات به وسیله ژنراتور خطی تولید شد [۱۲].

مبدل انرژی موج نوسانگر موج ارشمیدس دارای یک ژنراتور با قدرت بالا برای تولید برق یک شبکه است همچنان که قله موج نزدیک می‌شود فشار آب در بالای سیلندر افزایش می‌یابد و بخش بالایی شناور برای تعادل فشار، گاز را فشرده می‌کند و وقتی که تغار موج عبور می‌کند سیلندر به حالت اولیه باز می‌گردد و گاز منبسط می‌شود و این حرکت نسبی بین شناور و بخش پایینی به وسیله سیستم هیدرولیک و دستگاه ژنراتور به برق تبدیل می‌شود. سیستم نوسانگر موج ارشمیدس قابل تغییر اندازه می‌باشد و می‌تواند برای مقادیر گسترده ای از انرژی موج مورد استفاده قرار گیرد. این دستگاه در عمق ۵۰ متری زیر دریا نصب می‌شود و از خطرات احتمالی در امان است [۱۲].

مواردی که لازم است برای ایجاد یک مزرعه موج در نظر گرفته شود شامل موارد زیر است: مبدل‌ها در معرض امواج بزرگ اقیانوس قرار گیرند، عمق آب ۹۰-۸۰ متر و مزرعه نزدیک به خطوط حمل و نقل تجاری و بندرگاه صنعتی با ۱۲ ساعت فاصله دریایی باشد و بستر مناسب در دریا برای کشیدن کابل برق به ساحل فراهم باشد [۱۲].

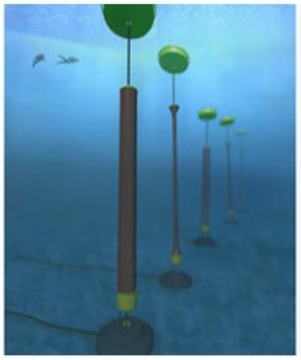
شرکت سرمایه‌گذاری اس تی وی که توسط کندا کپتال مدیریت می‌شود به شدت روی انرژی‌های تجدید پذیری که بتواند انرژی را با قیمت قابل رقابت تولید کند متمرکز است. تیم ای دبیلیو اس یک نمونه پیش تجاری با ظرفیت ۲۵۰ کیلو وات را در مرکز انرژی دریایی اروپایی اورکنی در سال ۲۰۰۹ توسعه داد و انتظار می رفت در عرض ۳ سال به ۱۰۰ واحد نوسانگر موج ارشمیدس افزایش یابد [۱۱]. شکل ۱۱ تصویری از این مبدل را نشان می‌دهد.

شکل ۱۱ مدلی از مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در سال ۲۰۰۹ [۱۱]

نوع دیگری از نوسانگر موج به صورت کاملاً مستغرق و با اسم ستو در استرالیا توسعه داده شد. حرکت عمودی شناور، پمپ پیستونی آب فشار بالا را به حرکت درمی‌آورد. این دستگاه ۷ متر قطر دارد و با ۸۰ کیلووات توان در سال ۲۰۱۱ تست شده است]۱۴[. تصویری از این مبدل در شکل ۱۲ نشان داده شده است.

شکل ۱۲ مدلی از مبدل ستو در سال ۲۰۱۱ [۱۴]

در سپتامبر۲۰۱۴ تیم ای، دبیلیو، اس کار بر روی یک سیستم مورینگ فعال هوشمند را برای کاهش هزینه‌های مورینگ تکنولوژی دریایی آغاز کردند. هدف از این پروژه توسعه تکنولوژی نو در جهت کاهش کلی هزینه‌های مورینگ و کنترل بارهای ناشی از استراکچر بر دستگاه می‌باشد]۱۵[. شکل ۱۳ تصویری از مبدل را نشان می‌دهد.

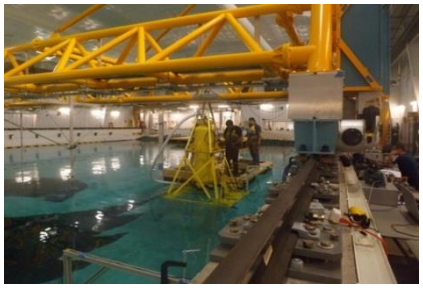


شکل ۱۳ نوسانگر موج ارشمیدس به همراه سیستم مورینگ هوشمند، ۲۰۱۴ [۱۵]

مدل دیگری از نوسانگر موج ارشمیدس با مقیاس ۱:۲۰ برای آزمایش در حوضچه آزمون اقیانوس‌های بزرگ نیروی دریایی ایالات متحده در کاردروک ام دی، ساخته و ارایه شد. تیم ساخت در ماه اوت سال ۲۰۱۶ در کاردروک مشغول به کار شد و در عرض یک هفته مونتاژ مدل در حوضچه، مبدل نوسانگر موج ارشمیدس با ژنراتور خطی کامل انتقال نیرو و سیستم کنترل پیشرفته[۱] با موفقیت آزمایش شد. شکل ۱۴ و ۱۵ تصاویری از نمونه ساخته شده را نشان می‌دهند [۱۵].

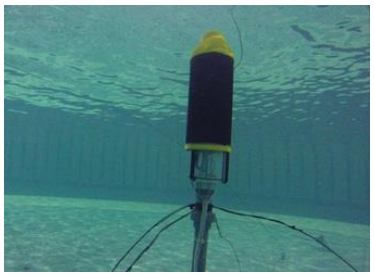
شکل ۱۴ نوسانگر موج ارشمیدس با مقیاس ۱:۲۰ در سال ۲۰۱۶ در آمریکا [۱۵]

[۱] Power Take Off



شکل۱۵ نوسانگر موج ارشمیدس با مقیاس ۱:۲۰ در سال ۲۰۱۶ در آمریکا [۱۵]

شکل ۱۶ پروژه دیگری از شرکت انرژی اقیانوس مربوط به پروژه انرژی امواج اسکاتلند را نشان می‌دهد که در فوریه ۲۰۱۷ در مقیاس ۱:۲۰ ساخته شده و با استفاده از داده‌های تجربی به دستگاهی با توان ۵۰ کیلو وات رسیدند [۱۵].



شکل۱۶ نمونه آزمایشی نوسانگر موج ارشمیدس در مقیاس ۱:۲۰ سال ۲۰۱۷ [۱۵]

مدل دیگری از مبدل نوسانگر موج ارشمیدس باز هم مربوط به شرکت انرژی اقیانوس می‌باشد. این مدل توانایی تولید برق قابل اعتماد را برای کاربردهای دریایی و فراساحلی دارد. این دستگاه نسبت به تغییرات فشار دریا در اثر امواج واکنش نشان داده و حرکاتش به وسیله یک ژنراتور خطی به برق تولید می‌شود. این دستگاه برای استفاده در عمق آب بیش از ۲۵ متر مناسب می‌باشد و می‌توان از آن بین ۲۵ تا ۲۵۰ کیلو وات برق با انتخاب سایز مناسب آن استحصال نمود [۱۶].

تکنولوژی این دستگاه در سال ۲۰۰۴ در فراساحل پرتغال تست شد و البته متوقف شد و از آن زمان مجددا مورد تحقیق قرار گرفت و تمرکز را بر نیاز مشتریان قرار داد و نمونه پیش تجاری آن با ظرفیت ۲۵ کیلو وات در اواسط سال ۲۰۱۷ ساخته خواهد شد. این سیستم یک سیستم با بازده بالا و هزینه معقول و اثرات زیست محیطی بسیار کم می‌باشد[۱۶]. تصویری از این مبدل در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

شکل ۱۷ نمونه آزمایشی مبدل نوسانگر موج ارشمیدس در سال ۲۰۱۷]۱۶[

با توجه به خطرات و ضربات محیطی کم برای حمل و نقل دستگاه مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، این مبدل دانسیته توان بالایی دارد و می‌تواند از طوفان‌های سهمگین در امان مانده و میزان تعمیرات دریایی کمتری هم خواهد داشت. باورها بر این است که با این سیستم یک پارک کوچک از مبدل‌های نوسانگر موج ارشمیدس، در آب‌های اسکاتلند ساخته خواهد شد و در فاصله یک‌سال ظرفیت آن بیش‌تر هم خواهد شد. بازارهای اصلی برای مبدل‌های نوسانگر موج ارشمیدس، در آینده نزدیک، اسکاتلند، پرتغال و اسپانیا خواهد بود [۴].

سیستم نوسانگر موج ارشمیدس، یکی از سیستم‌هایی است که بر خلاف برخی از سیستم‌های جاذب انرژی بر تعادل سیستم اکولوژی دریا اثر ناچیزی دارد و با مکانیزم ساده‌ای، توانایی جذب انرژی بالایی دارد [۱۷]. همچنین با داشتن تنها یک بخش متحرک بسیار قابل انعطاف بوده و نیاز کمتری به تعمیرات دارد [۱۲].

مزایای مبدل نوسانگر موج ارشمیدس

برخی از مزایای مبدل نوسانگر موج ارشمیدس به طور خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

قابل اعتماد: مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، به علت ترتیب ساده و اجزای متحرک کمتر آن، قابل اعتماد است. این سیستم در عمق زیر ۶ متر دریا مستقر می‌شود و به همین دلیل تحت تأثیر طوفان‌های سهمگین قرار نمی‌گیرد و در نتیجه هزینه‌های تعمیرات و ریسک خرابی کاهش می‌یابد [۱۷].

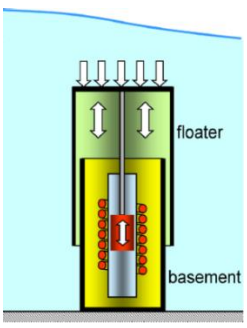
دانسیته توان: دانسیته توان مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، ۱۰ برابر بیشتر از دیگر وسایل جاذب انرژی های تجدیدپذیر است[۱۷].

دوستی با طبیعت: مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، یک دستگاه بی صدا و بدون هرگونه تجهیز روتاری سرعت بالا است و مشکل آلودگی نیز ایجاد نمی‌کند. همچنین به علت نصب در اعماق دریا از دید دیگران مخفی است و پذیرش عمومی برای اشغال فضا در محیط زیست ندارد[۷].

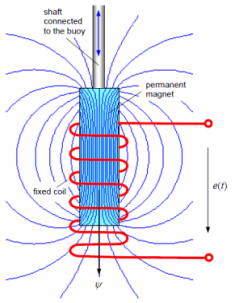
ژنراتور تولید برق

روش گرفتن انرژی از یک دستگاه به دستگاه دیگر متفاوت است. یکی از روش‌های عمومی تولید توان الکتریکی استفاده از ژنراتورهای الکتریکی روتاری سرعت بالا است. توربین هیدرولیک یا توربین هوا و یا موتور هیدرولیک ژنراتور را به حرکت درمی‌آورد. یکی از چالش‌های اصلی برخی از مبدل‌های انرژی، نگرانی در مورد نحوه استفاده از ژنراتورها است، دستگاه‌های از نوع جابجایی به طور مستقیم نمی‌توانند به ژنراتور وصل شوند و نیاز به تبدیل کننده دارند [۱۸].

مبدل نوسانگر موج ارشمیدس، تست شده در سواحل پرتغال در سال ۲۰۰۴، اولین نمونه آزمایشگاهی بود که به ژنراتور الکتریکی خطی مجهز شد. یکی از مزایای درایو مستقیم عدم نیاز به رابط مکانیکی و جلوگیری از افت‌هایی است که در ماشین‌های مکانیکی در بیشتر سیستم‌های انتقال نیرو اتفاق می‌افتد. همچنین ژنراتورهای الکتریکی خطی برای کاربردهای انرژی موج برای شرایط تقاضای زیاد بهتر از نوع روتاری سرعت بالا می باشند]۱۹[. شکل‌های ۱۸و ۱۹ شماتیکی از ژنراتور موجود در مبدل نوسانگر موج ارشمیدس را نمایش می‌دهند.



شکل ۱۸ ژنراتور خطی درون مبدل نوسانگر موج ارشمیدس [۱۹]



شکل ۱۹ عملکرد ژنراتور الکتریکی خطی مغناطیسی دایمی [۴]

توان مبدل نوسانگر موج ارشمیدس

توان سیستم نوسانگر موج ارشمیدس از نمونه نصب شده در پرتغال محاسبه شده است. دیتاهای زیر توسط نرم افزار آنداطلس[۱] استخراج شده است [۲۰].

جدول ۳ مشخصات متوسط امواج نامنظم در هر ماه را بر اساس نرم افزار آنداطلس نشان می‌دهد. Hs ارتفاع موج و $mineT$ و $Temax$ مقدار مینیمم و ماکزیمم دوره پریود موج هستند [۶]. با استفاده از این داده ها و روش‌های کنترل سیستم به روابطی برای توان می‌رسیم [۱]:

داده ها نشان می دهد توان خروجی با ارتفاع موج رابطه قابل توجهی دارد در حالی که اثر دوره تناوب کمرنگ است.

- رابطه توان در حالت بدون کنترل سیستم[۲] [۱]:

$$Pu = 2.71Hs^2 - ۶.۵۵۰۰ + ۷.۳۰$$

- رابطه توان در حالت کنترل منعکس شونده سیستم[۳] [۱]:

$$Pu = 8.59Hs^2 - 0.34Hs - ۸.۷۸$$

- رابطه توان در حالت کنترل دامنه و فاز سیستم[۴] [۱]:

$$Pu = 18.41Hs^2 - ۴۵.۰۱۰۰ + ۳۱.۰۶$$

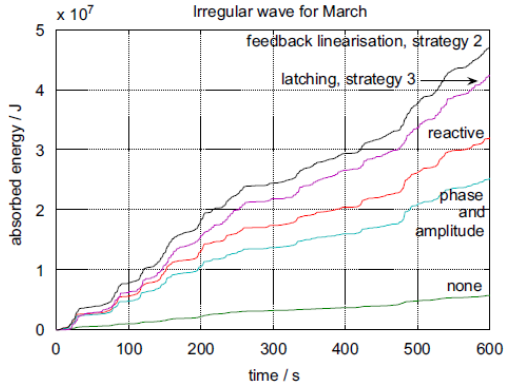
- رابطه توان در حالت کنترل ضامنی سیستم[۵] [۱]:

$$Pu = 5.21Hs^2 + 3۰.۰۷۰۰ - ۴۷.۶۵$$

رابطه توان در حالت کنترل خطی فیدبک[۶] [۱]:

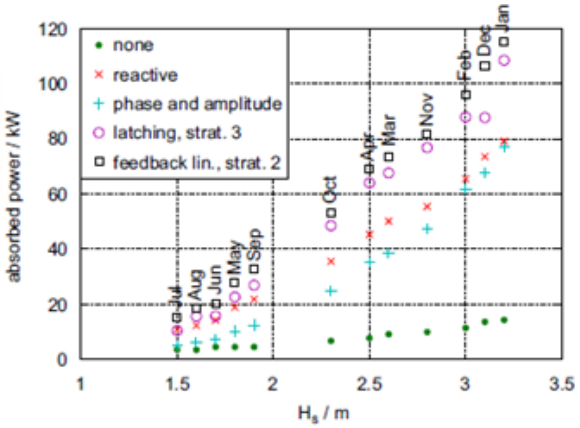
$$Pu = 9.45Hs^2 + 14.05Hs - ۲۸.۴۶$$

شکل ۲۰ نمودار انرژی جذب شده بر حسب زمان را در شرایط کنترلی متفاوت در ماه مارس نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۲۰ استنباط می‌شود هرچه کنترل سیستم نوسانگر موج ارشمیدس بیشتر و دقیق‌تر می‌شود در فاصله ۱۰ دقیقه میزان انرژی جذب شده از امواج تا ۱۰ برابر افزایش می‌یابد.



شکل ۲۰ انرژی جذب شده بر حسب زمان در کنترل‌های متفاوت [۱]

شکل ۲۱ نمودار توان بر حسب ارتفاع موج را با کنترل‌های متفاوت نشان می‌دهد. همانطورکه از نمودار مشخص است هرچه کنترل بیشتر می‌شود و هرچه ارتفاع موج در واحد متر بیشتر می‌شود، توان سیستم نوسانگر موج ارشمیدس به سرعت بالا می‌رود.



شکل ۲۱ تغییرات توان موج برحسب ارتفاع موج در کنترل‌های متفاوت [۱]

مقایسه‌ای بین مبدل‌های مختلف انرژی امواج

جدول ۴ مقایسه ای بین مبدل‌های مختلف انرژی امواج را نشان می‌دهد [۲۱]. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد که سیستم نوسانگر موج ارشمیدس در سایز متوسط توانایی تولید توان ۲۳۲۰ کیلو وات را در عمق بیش از ۴۰ متر دارد.

[۱] ONDATLAS
[۲] No Control
[۳] Reactive Control
[۴] Phase andAmplified Control
[۵] Latching Control
[۶] Feedback Linearisation Control

جدول ۴ مقایسه‌ای بین مبدل‌های مختلف انرژی امواج [۲۱]

مبدل	توان هر واحد (کیلووات)	حرکت	عمق (متر)	سایز
Oceantec	۵۰۰	Heave	۳۰-۵۰	medium
Pelamis	۷۵۰	Surge & heave	۵۰-۷۰	medium
P P Converter	۳۶۲۰	Heave	Deep	large
Seabased	۱۵	Heave	۳۰-۵۰	small
Wave Dragon	۷۰۰۰	overtopping	۳۰-۵۰	large
Aqua Buoy	۲۵۰	Heave	> ۵۰	small
AWS	۲۳۲۰	Heave	۴۰-۱۰۰	medium
Langlee	۱۶۶۵	Oscillating flaps	Deep	medium
OE Buoy	۲۸۰۰	Oscillating column	Deep	medium
Wavebob	۱۰۰۰	Heave	Deep	medium

جدول ۵ میزان توان متوسط ۴ مبدل مختلف را در ۱۰ نقطه مرجع در سواحل کشور پرتغال نشان می‌دهد. TT زمان کل و WT زمان زمستان را نشان می‌دهد [۲۱].

همانطورکه از جدول ۵ استنباط می‌شود سیستم نوسانگر موج ارشمیدس بعد از ویودراگون بیشترین توان تولیدی را در نقاط ده‌گانه دارد. جدول ۶ میزان توان متوسط شش مبدل مختلف را در ۱۰ نقطه مرجع در جزایر قناری نشان می‌دهد. TT زمان کل و WT زمان زمستان را نشان می‌دهد [۲۱].

نتیجه‌گیری

نتیجه‌ای که از این مقاله می‌توان یافت این است که پتانسیل موجود در امواج دریا قابل ملاحظه است و می‌توان به خوبی از آن در ایجاد الکتریسیته استفاده نمود. همچنین مبدل نوسانگر موج ارشمیدس نسبت به مدل‌های دیگر مبدل‌ها، انرژی امواج را به خوبی جذب می‌کند، سیستم ساده ای دارد، تعداد اجزای تشکیل دهنده آن اندک است و در سایز متوسط توان قابل توجهی را تولید می‌کند. سیستم تولید توان آن به طور مستقیم صورت می‌گیرد و اولین مبدلی است که در آن از ژنراتور خطی استفاده می‌شود. به علت نصب در بستر دریا از طوفان‌های احتمالی در امان است لذا تعمیرات و احتمال خرابی آن نیز کمتر است. همچنین در انظار عموم نیز قرار ندارد. همانطور که در نمودارها هم مشاهده شد چنانچه از یک سیستم کنترل مناسب در این مبدل استفاده شود میزان توان این مبدل تا ۱۰ برابر قابل افزایش است.

جدول ۵ میزان توان متوسط ۴ مبدل انرژی امواج در سواحل پرتغال [۲۱]

	Pelamis		AWS		Aqua Buoy		Wave Dragon	
	TT	WT	TT	WT	TT	WT	TT	WT
NP3	۹۵/۱	۱۳۰	۲۸۲/۷	۴۴۶	۳۴/۴	۴۸/۹	۹۰۷/۵	**۱۳۵۹**
NP4	۷۸/۷	۱۰۹	۲۴۶/۹	۳۹۶	۲۸/۸	۴۱/۵	۷۶۶/۷	**۱۱۵۳**
NP5	۹۸	۱۳۴	۲۸۶/۸	۴۵۱	۳۵/۷	۵۰/۶	۹۲۷/۹	**۱۳۸۸**
NP8	۱۰۱/۱	۱۳۹	۳۰۲/۸	۴۷۶	۳۶/۳	۵۱/۴	۹۷۹/۲	**۱۴۷۵**
NP13	۱۰۰/۲	۱۳۸	۲۹۵/۹	۴۶۷	۳۶/۱	۵۱/۴	۹۵۷/۱	**۱۴۴۰**
CP4	۹۵/۸	۱۳۲	۲۷۴/۵	۴۳۶	۳۴/۱	۴۸/۶	۸۹۵/۸	**۱۳۳۹**
CP11	۸۵/۴	۱۲۱	۲۷۵/۱	۴۴۷	۳۰/۳	۴۴/۲	۸۵۹/۲	**۱۳۱۷**
CP13	۱۰۲/۳	۱۴۲	۲۸۶/۹	۴۵۵	۳۶/۲	۵۱/۸	۹۵۵/۹	**۱۴۳۶**
CP14	۹۷/۵	۱۳۴	۲۷۴	۴۳۳	۳۳/۹	۴۸/۳	۹۰۵/۲	**۱۳۵۴**
CP15	۸۳/۱	۱۱۵	۲۶۲/۷	۴۲۱	۳۰	۴۳	۸۲۰/۸	**۱۲۳۲**

جدول ۶ میزان توان متوسط ۶ مبدل انرژی امواج در جزایر قناری [۲۱]

PE (KW) Point/Period	Pelamis		AWS		Aqua Buoy		OE Buoy		Langlee		Wave Bob	
	TT	WT	TT	WT	TT	WT	TT	WT	TT	WT	TT	WT
C1	۶۵/۴	۷۸/۸	۲۶۰/۱	۴۰۳/۲	۲۴/۳	۵۲/۲	۵۲/۹	۳۲/۳	۱۲۶/۹	۱۶۸/۸	۸۶/۹	۱۱۲/۸
C2	۶۶/۲	۷۹/۵	۲۶۰/۲	۴۰۳	۲۴/۶	۵۲/۱	۵۳	۳۲/۵	۱۲۸/۲	۱۷۱/۲	۸۷/۴	۱۱۳/۴
C3	۷۶	۹۰	۲۷۳/۵	۴۲۱	۲۷/۶	۶۱/۵	۶۲	۳۶	۱۴۳/۱	۱۸۸/۵	۹۵/۵	۱۲۳
C4	۷۴/۸	۸۸/۳	۲۷۱/۸	۴۱۸/۵	۲۷/۲	۶۰/۵	۶۰/۶	۳۵/۴	۱۴۱/۱	۱۸۵/۵	۹۴/۴	۱۲۱/۳
C5	۷۲/۵	۸۰/۸	۲۵۵/۳	۳۹۱/۱	۲۵/۸	۶۱/۵	۵۷/۲	۳۲/۳	۱۳۴/۴	۱۶۹/۲	۸۹/۷	۱۱۱/۵
C6	۷۴/۱	۸۲/۱	۲۵۷/۷	۳۹۴	۳۲/۳	۶۳/۱	۵۸/۲	۳۲/۷	۱۳۷/۱	۱۷۱/۸	۹۱/۳	۱۱۲/۹
C7	۸۱/۳	۹۰/۴	۲۷۰	۴۱۲/۶	۲۸/۷	۶۹/۲	۶۴/۲	۳۵/۸	۱۴۹/۵	۱۸۷/۹	۹۸/۳	۱۲۱/۹
C8	۸۷/۸	۹۳/۴	۲۷۵/۶	۴۱۷/۱	۳۰/۷	۷۵/۶	۶۶/۳	۳۷	۱۵۹/۳	۱۹۳/۷	۱۰۳/۷	۱۲۴/۹
C9	۸۸/۵	۹۳/۲	۲۷۵/۸	۴۱۶/۶	۳۱	۷۶/۳	۶۶/۱	۳۷	۱۶۰/۷	۱۹۳/۴	۱۰۴/۲	۱۲۴/۷
C10	۹۰/۳	۹۴/۲	۲۷۷/۴	۴۱۸/۱	۳۱/۵	۷۸/۳	۶۷/۱	۳۷/۳	۱۶۳/۶	۱۹۵/۵	۱۰۵/۷	۱۲۵/۷

References:

[۱] Duarte Valerio, Pedro Beira, Jose Sa da Costa. *Optimisation of wave energy extraction with the Archimedes Wave Swing*.Elsevier Ltd. Ocean Engineering, 34 (2007). P. 2330–۲۳۴۴.

[۲] ExxonMobil. *The outlook for energy*: a view to 2040. Technical Report, Exxonmobil; 2012.

[۳] Jos_e S_a da Costa, Pedro Beir~ao, Duarte Val_erio. *Internal Model Control Applied to the Archimedes Wave Swing*. 2010.

[۴] Leao Rodrigues. *Wave power conversion systems for electrical energy production*. RE&PQJ, Vol. 1, No.6, March 2008.

[۵] Boletín de inteligencia tecnológica, *tecnologías para el aprovechamiento de la energía de las olas y de las corrientes marinas*. Technical Report, Fundacion innovamar; 2009.

[۶] IraideLopez, JonAndreu, SalvadorCeballos, Inigo Martinez de Algeria, Inigo Kortabarria. *Review of wave energy technologies and the necessary power-equipment*. Elsevier Ltd. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 27(2013). P. 413–۴۳۴.

[۷] M G de Sousa Prado, F Gardner, M Damen1, and H Polinder. *Modelling and test results of the Archimedes wave* swing. Journal of Power and Energy. 2006. P. 855-868.

[۸] Mork G, Barstow S, Kabuth A, Pontes M. *Assessing the global wave energy potential*. In: International conference on ocean, offshore mechanics and arctic engineering (OMAE). vol.20473. 2010. P. ۴۴۷□۵۴.

[۹]Joao Cruz. *Ocean Wave Energy current status and future* prepectives. . 2008. Springer. P. 287-395.

[۱۰] *Archimedes wave swing (aws):energy out of waves*, 1997 http://www.eurekanetwork.org/project/id/1219.

[۱۱] *Investment Boost for Wave Energy*, 07 Feb 2017, http://www.maritimejournal.com/news101/marine-renewable-energy/investment_boost_for_wave_energy.

[۱۲] *Archimedes Wave Swing Machines*, http://www.reuk.co.uk/wordpress/wave/archimedes-wave-swing-machines.

[۱۳] Alistair G.L.Borthwick. *Marine Renewable Energy Seascape*. Engineering 2 (2016). Elsevier Ltd. P. 69–78.

[۱۴] Antonio F. O. Falca. *Modelling* of Wave Energy Conversion. 2014. P. 1-38.

[۱۵]*U.S. Department Of Energy – Wave Energy Prize*, http://www.awsocean.com/projects.html

[۱۶] *Archimedes Wave Swing Submerged Wave Power Buoy*, http://www.awsocean.com/archimedes-waveswing.html.

[۱۷] *Wave power : Archimedes Wave Swing Machines* http://www.brighthub.com/environment/renewable-energy/articles/۴۰۵۴۸.□□□□.

[۱۸] B Drew. A R Plumme. M N Shahinkaya. *A Review Of Wave Energy Converter Technology*. 2009. Journal of Power and Energy 223. P. ۸۸۷-۹۰۲.

[۱۹] Antonio F. de O. Falcao. Wave energy utilization: A review of the technologies. Elsevier Ltd. Renewable and Sustainable Energy Reviews. (2009). P. 899–918.

[۲۰] Pontes, M.T., Aguiar, R., Oliveira Pires, H., 2005. *A nearshore wave energy atlas for Portugal*. Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering 127. P. 249–255.

[۲۱] Eugen Rusu. *Evaluation of the Wave Energy Conversion Efficiency in Various Coastal Environments*. Energies 2014. 7. P. 4002-4018. doi:10.3390/en7064002.