

АНАЛИЗ НА РАЗВИТИЕТО НА ВЪЗОбНОВЯЕМИ ЕНЕРГИЙНИ ЦЕНТРАЛИ НА БАЗАТА НА ПОТЕНЦИАЛА НА ЕНЕРГИЯТА ОТ МОРСКИТЕ ВЪЛНИ

Елдар Заеров, Силвия Лецковска
Бургаски свободен университет

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY POWER PLANTS BASED ON THE POTENTIAL OF THE ENERGY FROM THE SEA WAVES

Eldar Zaerov, Silviya Letskovska
Burgas Free University

Abstract: *The use of energy from sea and ocean waves is a very promising energy sector, as the potential of the world's oceans is virtually limitless. In this study, the different methods for producing energy from sea and ocean waves are analyzed. Emphasis is placed on the main types of power plants powered by sea waves, the converters of energy from sea waves, the technologies using different converters, the Technical and economic development of WEC systems.*

Key words: *wave energy; wave power plant; energy potential; tidal station; renewable energy sources.*

Въведение

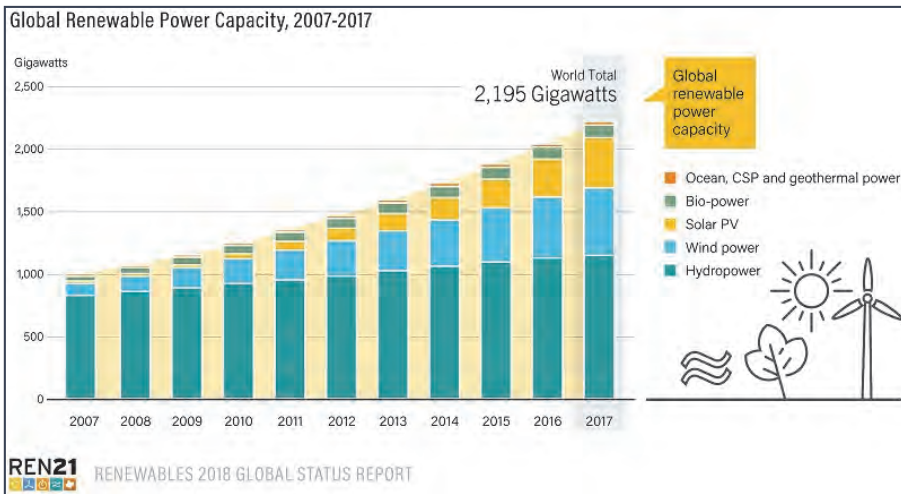
Проблемите с изменението на климата, загубата на биоразнообразие и неустойчивото използване на природните ресурси изискват подходящи цели и взаимосвързани политики. В дългосрочен план успех ще постигнат тези страни, които са най-наясно с тези проблеми и които са фокусирали своята дейност върху създаването на отворена, конкурентна и екологично ефективна икономика, която ще подобри благосъстоянието на хората и същевременно ще доведе до намаляване на използването на енергия и природни ресурси.

Съществен принос за намаляване на въглеродната интензивност в електроенергийния микс на България има производството на електрическа енергия от възобновяеми източници. Националната политика в България в тази област е добре разработена на база приетите Национален план за действие в областта на възобновяемата енергия до 2020 г. и Закона за енергията от възобновяеми енергийни източници [7, 8, 9].

I. СЪСТОЯНИЕ НА ВЪЗОбНОВЯЕМАТА ЕНЕРГЕТИКА ПРЕЗ ПОСЛЕДНИТЕ ГОДИНИ

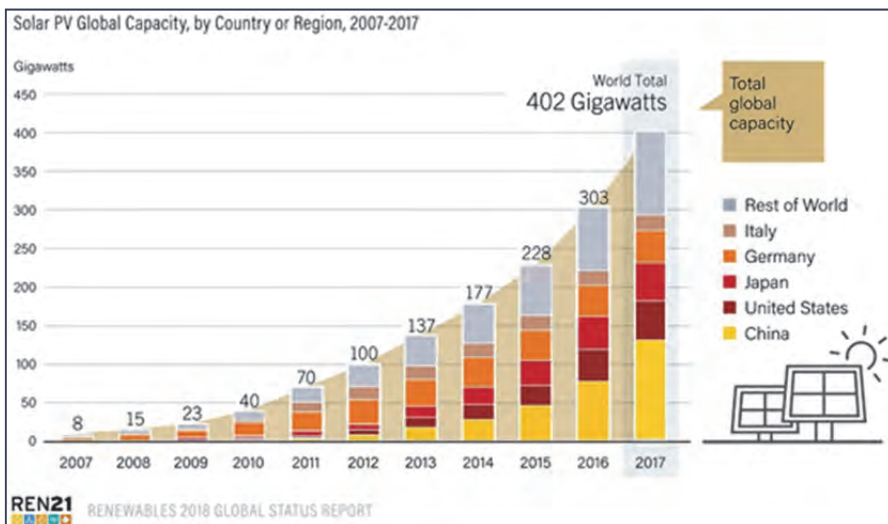
През 2018 г. е регистрирано рекордно увеличение на произведената енергия от възобновяеми енергийни източници.

В същото време световното потребление на енергия се е увеличило с 2.1%, а емисиите на въглероден диоксид – с 1,4%. Това до голяма степен компенсира успеха на развитието на пазара на възобновяема енергетика. (Фиг. 1)



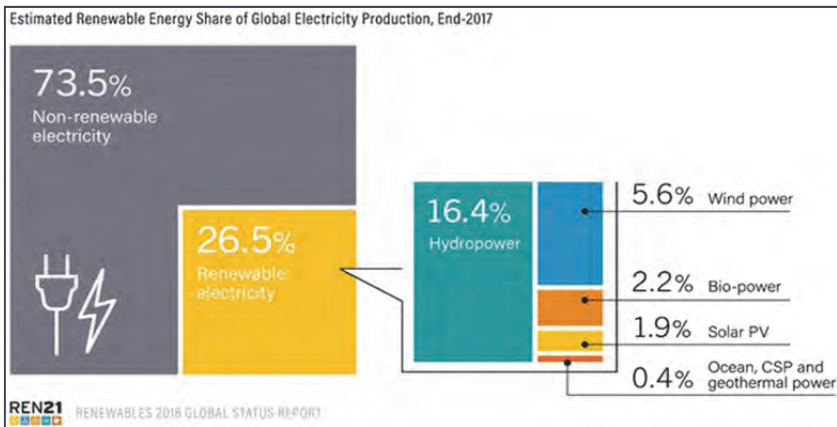
Фиг. 1. Глобален капацитет на възобновяемата енергия.

През 2019 г. инсталираният капацитет на електроцентрали, работещи на базата на възобновяеми енергийни източници, се е увеличил в световен мащаб с почти 9% в сравнение с 2016 г. – до 178 GW, което е рекордно увеличение. Фотоволтаичната слънчева енергия (Фиг. 2) осигурява 55% от този ръст.



Фиг. 2. Глобален капацитет за слънчева енергия по държави или региони.

В слънчевия сегмент на енергетиката са изградени повече нови мощности в сравнение с тези, работещи на базата на изкопаеми горива и в комбинация с ядрена енергия. Увеличението на фотоволтаичните инсталации възлиза на 98 GW.



Фиг. 3. Прогнозен дял на възобновяемата енергия в световното производство на електроенергия (към края на 2017 г.).

През последните години се правят интензивни изследвания за използване и на други източници на възобновяема енергия. Поради достъпността на технологиите се използват основно източници на база на фотоволтаични централи, вятърни централи и такива от геотермална енергия и биогорива. Недостатъците на тези източници предизвикват интереса на световната наука към изследването на алтернативни източници на възобновяема енергия. Един такъв източник са моретата и световния океан. Добиването на енергия от морските вълни и морските течения все още не е достатъчно развито и изследвано.

Безспорно база за оценка на ресурсите на морските вълни се явяват и основните характеристики и особеностите на съответния морски басейн. В условията на България единственият такъв е Черно море.

Черно море покрива, без Азовско море, площ от 420 000 км². Максималната и средната му дълбочина са съответно 2245 m и 1240 m, най-голямата му ширина и дължина са съответно 610 km и 1167 km. Поради обилния приток на речни води, морската вода на Черно море е по-слабо солена (17,3 на хиляда), в сравнение със Средиземно море и в Световния океан, които имат соленост около 36 на хиляда.

Вливащите се в Черно море реки, сред които са Дунав, Днепър, Днестър, Дон и Кубан (чрез Азовско море) и други, осигуряват средногодишно около 360 km³ сладка вода. Освен солеността на морската вода, имаща значение при изграждането на технически съоръжения, друга особеност е относително високото съдържание на сероводорода в Черно море – 10 mg/l при дълбочини под 150÷200 m.

Значението на този факт, макар и неединичен, в рамките на световния океан (аналогии има край бреговете на Канада, Венецуела и др.), се подсилва особено от наблюдаващата се тенденция в последните години за „издигане” нивото на сероводорода, т. е. повдигането му на по-малка дълбочина.

Използването на сероводород като възобновяем източник на енергия има висок потенциал и представлява интерес за научната общност. Могат да бъдат проведени изследвания и за производство на електроенергия с инсталации на базата на солеността на Черно Море, използвайки принципа на осмозата.

Все още са малко разработените промишлени инсталации за добив на електроенергия от морските вълни, които са икономически обосновани. По-долу са разглеждани част от тях.

II. ПОТЕНЦИАЛ НА МОРСКИТЕ ВЪЛНИ

Енергията на морските и океанските вълни може да посрещне до десет на сто от световното търсене на електроенергия, според ново проучване от разработчика на вълнови технологии Marine Power Systems (MPS).

В доклада „Да накараме вълновата енергия да работи” са анализирани икономическата жизнеспособност и екологичния потенциал за използване на вълновата енергия до 2050 г. Направено е заключението, че ако индустрията и правителствата работят заедно за ускоряване на технологичното развитие и секторът разчита на стабилна политическа среда, този вид добив на енергия може да се превърне в основен играч за световния енергиен микс до средата на века [10, 11, 12].

Според анализа в доклада има възможност да се използват 4000 TWh енергия от вълните всяка година, което би покрило около 10% от потреблението на енергия в световен мащаб, дори ако търсенето ще се удвои до средата на века; ще се създаде глобален пазар на стойност 85,6 млрд. Евро, ако се разработи капацитет от 337 GW вълнови мощности до 2050 г.; Европейският пазар ще възлиза на 49 млрд. евро.

Критиците на използването на вълновата енергия твърдят, че тя струва значително повече от другите форми на чиста енергия и трябва да преодолее множество технически предизвикателства, които възникват при работа в тежката и сурова морска среда.

Въпреки това MPS твърди, че техническите проблеми бързо ще се преодолеят и индустрията ще има потенциал да намали разходите благодарение на икономите от мащаба на производството, а вълновите генератори ще имат потенциала да осигуряват относително надеждна енергия с минимално визуално и екологично въздействие. Според д-р Гарет Стокман, управляващ директор на MPS: „Светът бързо върви към нисковъглеродно бъдеще, При устойчива държавна политика, стабилни инвестиции и обединение в комуникациите от страна на партньорите в този сектор, индустрията на вълновата енергия може да се превърне в история на успеха, следвайки стъпките на по-зрели технологии за възобновяеми енергийни източници”.

Има публикации (в. „Стандарт”), в които се твърди че производство на електроенергия от морските вълни ще се изпробва край нос Калиакра и Шабла, за което е разработен мащабен проект на Еврокомисията, финансиран с над 1 милион евро. В него участват 41 организации, учени, консултанти, университети и фирми от над 30 държави. В работата по 4-годишния проект е включен Институтът по хидро- и аеродинамика във Варна. Устройства за преобразуване на силата на вълните в електрически ток е имало на варненския плаж още през 30-те години на миналия век.

Няколко прототипа за добиване на ток от вълните има в Северно и Балтийско море. Резултатите от европейските изследвания могат да се приложат и в Черно море, въпреки че проучвания отпреди 15 години показали мижав ефект, защото вълните в нашето море са по-малки и непостоянни.

Най-подходящо място се оказва прибойт в скалите край Калиакра и Шабла, където морето е най-бурно. Устройства на принципа на поплавка могат да се заложат до брега и да превръщат силата от постъпателното и въртеливо движение на вълните в еленергия.

Предимствата на морските пред ветрогенераторите е, че те няма да създават екологични проблеми. Няма и да пречат на пътя на птиците, на корабоплаването, както и на развитието на туризма, защото ще се монтират на труднодостъпни места. Енергията от морските вълни ще излезе малко по-скъпа от ветротока (8÷25 цента).

Промените в климата и увеличените разходи за енергия са сред най-обсъжданите теми сред професионалисти, политици и обществеността. Емисиите на CO₂ от промишлеността, транспорта и производството на енергия несъмнено са отговорни за повишаването на глобалната температура и свързаните с нея последици, включително размразяване на ледени полярни шапки или разширяване на пустинните зони. Тези процеси са придружени от увеличаване на цената на мазута, бензина и хранителните продукти, като същевременно се намаляват запасите от нефт и природен газ. Развитието и ефективното използване на регенеративна и зелена енергия е възможен изход от тази ситуация.

1. Основни видове електроцентрали, захранвани от морските вълни

Морските вълни, наред със слънцето, вятъра и енергията на реките и язовирите, принадлежат към групата на енергийните източници, добили широка популярност през последните години под термина възобновяеми. Въпреки че опити да се овладее и преобразува енергията на морските вълни съществуват от десетилетия, едва наскоро се заговори по-сериозно за необходимостта от разработване на технологии за ефективното им енергийно оползотворяване. Причините са до болка познати, за съжаление, не само от анализите и дискусиите за изчерпване на въглищата, нефта и природния газ в световен мащаб, а от чисто икономическата логика, диктувана от цените на тези първични енергийни източници на международните пазари.

Само допреди десет години, вятърните и слънчевите централи все още бяха тема, която се коментираше основно по различни форуми и на страниците на специализираните списания, без да има съществено практическо приложение. Днес, вятърните централи и слънчевите фотоелектрични системи са сред най-динамично развиващите се области на електроенергетиката. Изхождайки от същата логика, вероятно не е далеч времето, в което електроцентралите, преработващи енергията на морските вълни в електрическа, ще се превърнат в част от пейзажа на крайбрежията. Днес едва ли би могло да се каже кога ще стане това, предвид огромните и често противоречащи си интереси на големите компании в областта на световната енергетика, от една страна, и развитието на технологиите, от друга. Факт, обаче, е че вече са изградени и експериментално функционират няколко морски електроцентрали.

Известно е, че морските вълни представляват периодично спускащи се и издигащи се огромни количества водни маси. Това движение акумулира в себе си огромна енергия, която именно е обект на различните технологии за енергийното ѝ оползотворяване. Съществуват две основни направления в развитието на морската енергетика. Едното включва разработването на технологии за оползотворяване енергията на прибойните вълни, т.е. строителството на брегови електроцентрали. Във второто направление усилията на инженерите са насочени към развоја на технологии за оползотворяване на теченията, навътре в морето. Строят се офшорни електроцентрали, които са изцяло или полупотопени в морето. Съществуват различни мнения по въпроса в кое от направленията инвестициите биха дали по-добри резултати. Съществуват дори поддръжници на становището, че за да се разработи достатъчно ефективна технология, би следвало да се съчетаят двете направления в развитието на морската енергетика.

Съществуват различни технологии за оползотворяване на енергията на морските вълни. В централите, отработващи енергията на прибойните вълни, е намерила приложение технология, базирана на водни камери. Периодичното издигане и спускане на водните маси води до периодично повишаване и понижаване на водния стълб в ка-

мерите. С цел енергийно оползотворяване на тази разлика във височината на запълване на камерите се използват специални турбини, които отчитат промяната в налягането на въздуха в камерите, вследствие периодичното им запълване и изпразване с морска вода.

Разработени са и друг вид конструкции, при които периодичната промяна във височината на водния стълб в камерите се отработва от турбини, работещи с нисък пад на налягането.

В електроцентралите, отработващи енергийно морските течения, а не енергията на прибойните вълни, все по-уверено си проправя път технология, базирана на хидравлични помпи, най-често възвратно-постъпателни. Тази електропроизводствена технология включва паралелното използване на хидравлични помпи и двигатели. Първите, най-общо казано, преобразуват енергията на морските вълни в налягане, а вторите – налягането във въртящ момент, който завърта електрогенератор. Съществуват и други технологии за преобразуване на енергията на морските вълни в електрическа, за съжаление, според общодостъпната информация, все още на етап разработка.

За момента основният проблем, който спъва по-масовото практическо приложение на тези технологии, е ниската им ефективност. Генерираното въртеливо движение в турбината е с ниски обороти, което е определящо за постигания нисък коефициент на полезно действие на централите, което води до лошата им икономическа ефективност.

Въпреки съществуващите технически трудности, съпътстващи разработването на технология с висок КПД и конкурентноспособни производствени цени, все повече специалисти определят морската енергетика като перспективно направление, което крие сериозен потенциал за развитие [1, 2, 3].

Днес делът на енергията при използване на морски вълни е малък процент от общата генерирана мощност.

Енергията на вълните и техните изследвания в продължение на повече от 10 години са популярни теми в научните изследвания. Вече са реализирани голям брой проекти и има различни тестови централи. Морето е постоянно в движение и следователно, е надежден и неизчерпаем източник на електроенергия. Според експерти само бреговете на Европа могат да го генерират годишно в размер на повече от 280 TWh, което съответства на половината от брутно потребление на такава индустриализирана страна като Германия. С пълното използване на вълновата енергия по всички брегове на Земята, можете да се покрие половината от световното търсене на електроенергия.

Към днешна дата са тествани различни прототипи за използване на вълнова енергия и вече работят първите търговски електроцентрали. Развитието на използването на тази форма на енергия ще допринесе за увеличаване на дела на възобновяемата енергия в ежедневието и подобряване на защитата на бреговата ивица. Използването на вълнова енергия е възможно по различни начини.

Развитието на WEC (Wave Energy Converters) се характеризира с факта, че има голям брой различни идеи и концепции за това как да се използва вълновия енергиен ресурс. Различните понятия могат да бъдат категоризирани по много различни начини.

Често се използва основна категоризация с термини терминатор, атенуатор и точков абсорбер. Терминаторите са устройства с големи хоризонтални разширения, успоредни на посоката на разпространение на вълната, докато атенуаторите имат големи хоризонтални разширения, ортогонални на посоката на разпространение на въл-

ната. Точкови абсорбатори с разширения малки в сравнение с преобладаващата дължина на вълната [4, 5, 6].

WEC могат да бъдат класифицирани и по местоположението им – на сушата, на брега и в морето. Крайбрежните или морските устройства са с ограничители и са плътно свързани със земята. Типични примери за това са колебателните колони и устройствата за преливане. Устройствата, разположени в открито море, обикновено ще бъдат плаващи и ще имат достъп до вълните.

Европейският център за морска енергия в Оркни използва 8 основни типа плюс един („другият“ – предвид факта, че някои WEC не могат да бъдат поставени в съществуващи категории). В бъдеще обаче ще се използва подходът за категоризация, използван от IEA – Ocean Energy Systems.

2. Преобразуватели на енергията от морските вълни

Технологиите за добив на енергия от морските вълни все още са в начален етап на развитието си, но много енергийни компании по целия свят инвестират в тяхното усъвършенстване. Като основни причини инвеститорите посочват огромните мащаби на ВЕИ ресурса и прогнозируемия капацитет за производство на екологично чиста енергия, които му осигуряват предимство пред по-популярните в момента нисковъглеродни източници – слънцето и вятъра.

Като фактори за забавеното развитие на сектора специалистите изтъкват трудностите при инсталацията на съоръженията в открито море, повишените изисквания към устойчивост на солената морска вода и неблагоприятни климатични условия, сложната поддръжка и скъпия транспорт на генерираната енергия.

Видове преобразуватели

Преобразувателите на енергия от морските вълни биват различни видове и се класифицират спрямо множество критерии.

Според *разположението* си спрямо брега се разделят на построени на самият бряг; близо до брега (на дълбочина 10÷20 m); отдалечени от брега; разположени в зони с морски течения.

Според *ориентацията* им спрямо вълновия фронт биват атенуатори (разполагат се на регулируем ъгъл спрямо фронта на вълната и я „обработват“ при преминаването ѝ), терминатори или точкови абсорбатори (преобразувателят има различна форма и приема енергия при различни посоки на вълната).

Най-често проектираните преобразуватели са терминаторите. Тяхното протежение е успоредно ориентирано на вълновия фронт, като по този начин представляват бариера и трябва да бъдат стабилно конструирани. Терминаторите образуват редица от много единични модули, от които се очаква висок добив на енергия. Подходящи са за относително спокойни води.

В зависимост от *технологията* преобразувателите се разделят на осцилиращи преобразуватели, използващи разликите в нивата на водите или използващи хидростатичния натиск.

Осцилиращите преобразуватели са свързани с брега, което прави поставянето и поддържането им безпроблемно. Не е необходимо закотвяне на съоръжението на големи дълбочини или транспорт на енергията до брега. От друга страна, близо до брега енергията на морската вълна е по-слаба и те генерират по-малко електроенергия.

Технологията на преобразувателите, използващи разликите в нивата на водите, изисква построяването на канал или басейн, в който водата се влива и натрупаната кинетична енергия във вълната води до издигането ѝ над морското равнище. При изпускане на водата се задвижва водна турбина и чрез генератор се произвежда електроенергия.

Друг възможен вариант за произвеждане на енергия от вълните е използването на хидростатичния натиск. Чрез издигане на водната повърхност се усилва хидростатичният натиск в една точка под повърхността на водата. Съответно, тя потъва при вълнова вдлъбнатина.

Построените на самия бряг преобразуватели на енергия от вълните са подходящи при големи вълни и приливно-отливни зони. Предимството им се състои в безпроблемното им изграждане и поддържане, в опростеното енергийно транспортиране и възможността за комбинация с противоерозийните съоръжения. Основен недостатък на този вид вълнови конвертори е, че те работят с намалена енергия на вълната.

Освен турбини, в бреговите технологии се прилагат и хидравлични помпи, най-често възвратно-постъпателни. Налягането, получено след помпите, се отдава в хидромотори, които завъртат електрогенераторите на централите.

Хидропомпите се монтират както на брегове, така и на офшорни вълнови електростанции.

Според *принципа на действие* преобразувателите биват активни и пасивни.

Под *активен* преобразувател на енергията на вълните се разбира система, която чрез подходящи конструктивни решения превръща движенията на вълните в трансляционни, респективно ротационни движения или предизвиква движения на флуиди. Тези движения по-късно се използват от генератори с въздушни или водни турбини. Основна особеност на този вид конвертори е съществуването на тяло, което да изпълнява движение спрямо водата, като то трябва да бъде свързано по някакъв начин с дъното.

Пасивните преобразуватели на енергията на морските вълни са неподвижни спрямо водата, т. е. структурата им не извършва никакви движения. Те не изискват активни части за трансформация на вълновата енергия, независимо от движението.

Въздушното налягане, предизвикано от движението на вълните, задвижва турбина, а оттам генератор и по този начин се произвежда електрическа енергия. Пасивните конструкции трябва да съответстват на определени нормативни стандарти и не могат да се разполагат на места, където съществува вероятност от сблъсък с морски съдове.

Изборът на най-подходяща технология за преобразуване на енергията на морските вълни изисква оценка на енергийните запаси на ветровото вълнение по дадено крайбрежие.

Анализите включват средностатистически данни за вятъра (разпределение, посока, скорост и сезонна продължителност); информация за особеностите на морските вълни в региона; резултати от математическо описание на вълновите процеси на база на линейната теория на вълната, които дават яснота за количеството енергия и за натоварването на преобразувателите.

При описание на особеностите на морските вълни в региона се конкретизира типът вълни според формата и начина на пренасяната маса: вълни със значително придвижване на маси по посока на разпространението (транслаторни вълни) или осцилаторни вълни, при които няма или почти няма придвижване на маси, водните частици се движат в затворени или почти затворени орбити.

Към тях спадат породените от вятъра вълни, както и генерираните от движението на морско технически обекти по повърхността. Основен интерес представляват породените от вятъра вълни.

Ако движението на съседните повърхностни участъци е фазодефазирано, то се наблюдават вълнови хребети и падини, които се движат с т. нар. фазова скорост в напредващата посока. Ако не се променя вълновият контур по време на процеса на разгъване, то вълната се нарича стационарна.

Ако амплитудата може да се опише чрез синусова или косинусова функция, то се говори за хармонична напредваща вълна. Ако движението на съседните повърхностни частици е дефазирано, екстремалните стойности и лежащите между тях възли на вълновия контур остават неподвижни. При такива стоящи вълни водните частици се колебаят по права траектория нагоре-надолу.

Поради малките му размери в Черно море се образуват незначителни приливи и отливи (3÷8 cm). При буря ветровете предизвикват значително по-големи колебания на морското равнище (10÷20 cm).

Обикновено скоростта на вятъра по време на щорма не е постоянна – нарастваща и намаляваща (след максималната си стойност) с флукуационни изменения във времето и посоката. При оценката трябва да се отчитат най-подходящите за дадените условия модели за описание и енергиен ресурс на вълните, както и непостоянството на щурмовите условия.

Определяща се явява, в крайна сметка, нормираната на един линеен метър от вълновия формат мощност на морските вълни в дълбоководните зони. По експертни данни стойността на този показател в участъците от крайбрежието на САЩ и Япония е около 40 kW/m, по западното крайбрежие на Англия – до 60 kW/m, а за черноморското крайбрежие (България) – до 1215 kW/m.

В България има над 10 метеорологични станции, като от тези разположени по черноморското крайбрежие станция Калиакра дава най-добра информация за ветровите ресурси в открито море, тъй като нос Калиакра е най-вдадената в морето точка на наша територия. Срочните наблюдения се извършват през три часа.

3. Основни принципи за изграждане на вълнови преобразуватели на енергия и тяхната среда

WEC са машини, които са в състояние да използват енергията от океанските вълни и да я преобразуват в използваема форма на енергия, например – в електричество.

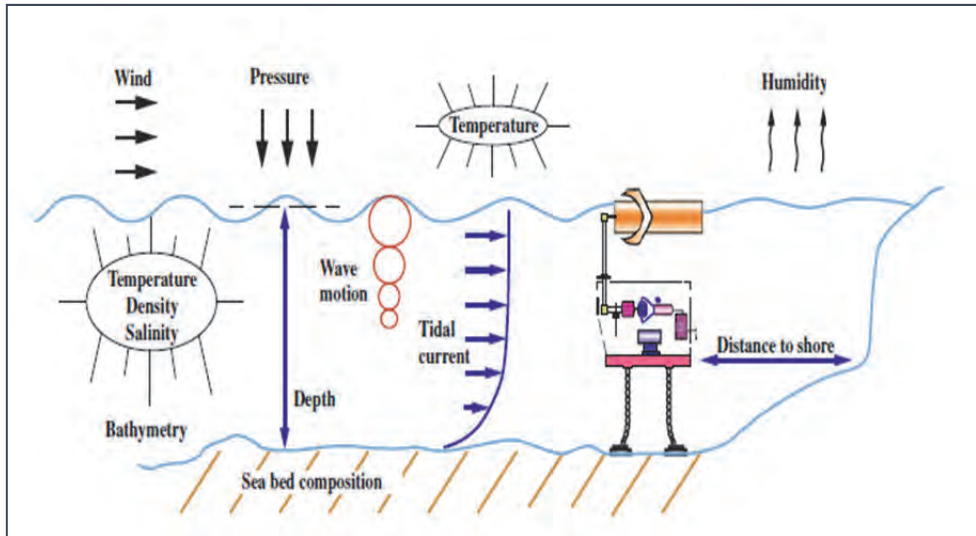
Океанските вълни са теоретично сравнително добре изучени и подробно описани в литературата.

На практика обаче е много трудно точно да се опишат, възпроизведат и прогнозират точните условия на околната среда в определено офшорно местоположение. Това се дължи на сложността му и на голямото количество параметри на околната среда, които могат да окажат значително влияние върху него.

На Фиг. 4 схематично са представени различни параметри на метеорологичните условия, влияещи върху морската среда, както и основните подсистеми на (плаващата) WEC.

Повечето WEC, дори и тези с различни принципи на работа са много сходни от обща гледна точка.

Повечето от тях се състоят от същите първични подсистеми, което се дължи на общата им среда и цел (Фиг. 5).

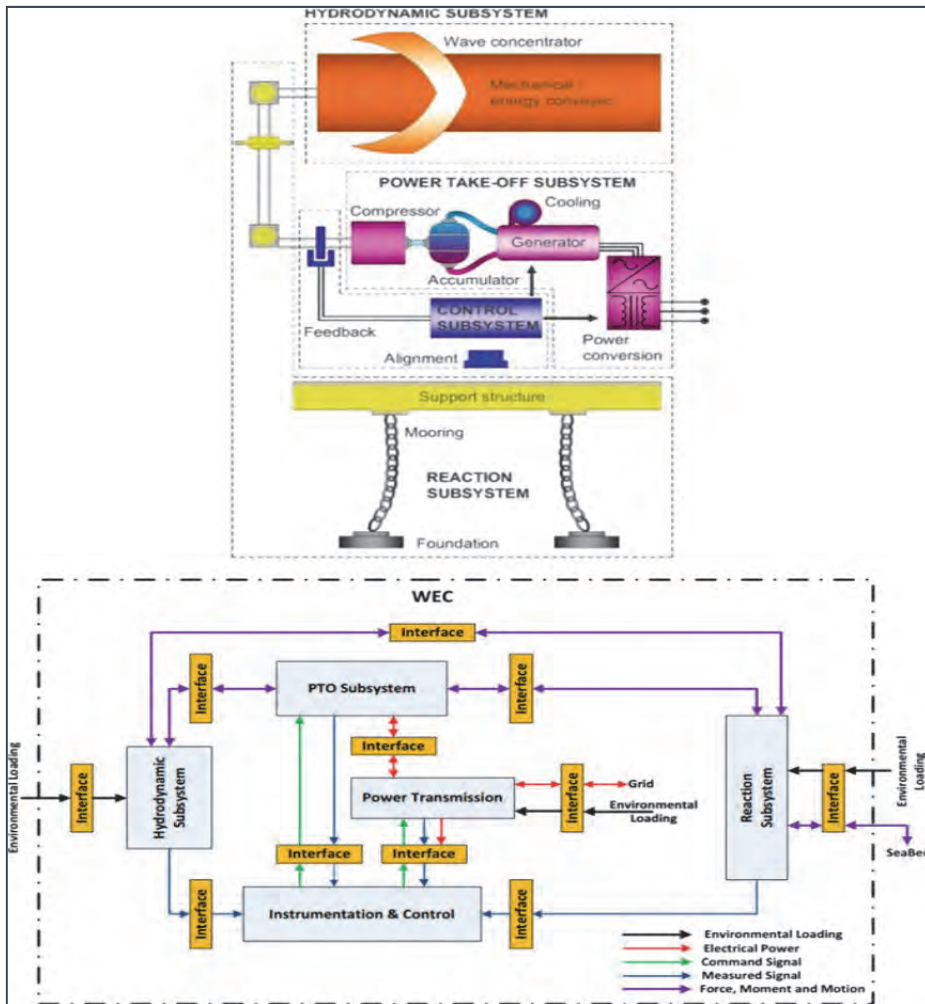


Фиг. 4. Метереологични и океански параметри, приложими за преобразуването на морската енергия, и техните основни подсистеми.

Основните подсистеми, присъстващи във системите на WEC са:

- Хидродинамична подсистема, основната система за поглъщане на вълната, която използва силата на вълната. Тя може да бъде от различни видове в зависимост от технологията, напр. осцилиращо тяло, осцилиращ воден стълб и принцип на преливане и той е свързан както с реакционната, така и с РТО подсистемата, срещу която активно ще прехвърля сили и движения;
- Подсистема за отнемане на енергия преобразува заловената вълнова енергия (от хидродинамичната подсистема) в електричество. Системите на РТО могат да се основават на различни принципи, от които някои от най-често срещаните са хидравличен РТО, механично задвижване с директно задвижване на РТО, линейни генератори, въздушна турбина и водна турбина с ниска глава;
- Реакционна подсистема, поддържа на WEC в определено положение по отношение на морското дъно (напр. Система за акостиране) и осигуряваща точка на реакция на РТО и / или опора за хидродинамичната подсистема (напр. Фиксирана референтна или поддържаща структура);
- Подсистема за управление (и измервателни уреди) – интелигентна част от системата, която се грижи за контрола на WEC и нейните измервания. Основно се състои от процесори за автоматизация и електромеханични процеси, сензори и тяхното събиране на данни, комуникация и пренос на данни и човешкият интерфейс.

Тези различни подсистеми и техните взаимовръзки могат да бъдат представени по различни начини, две от които са представени на Фиг. 5.



Фиг. 5. Основните елементи на вълновия преобразувател и блокова схема.

4. Иновативни разработки на базата на основните принципи за изграждане на вълновите преобразуватели

Научни институти и частни компании по целия свят се стремят да усъвършенстват технологиите за извличане на енергия от морските вълни като един перспективен ВЕИ източник. Усилията им се подкрепят и от нормативната рамка в областта, която предвижда като цел за страните от ЕС 3.6 GW енергия от морските вълни към 2020 г. и 188 GW – към 2050 г.

Сред традиционните иноватори са учените от Института Фраунхофер, които предлагат концепция за система, инсталирана на борда на кораб. Тя се състои от шамандури, прикрепени с шарнирни механизми към стените на 50-метров кораб, чието движение по вълните задвижва мотовилков механизъм и механичната енергия се преобразува в електрическа. Генерираната енергия се акумулира в клетките за съхране-

ние на борда на кораба, които имат капацитет 20 MWh. Тъй като корабната инсталация е мобилна, при приближаване на буря шамандурите се изваждат от водата и корабът се закотвя в близост до брега. Системата не изисква кабели и може да се премества на места, където има достатъчно вълни.

Австралийска компания предлага система, която събира енергия, като *имитира движенията на морските водорасли келп* (сборно название на група от няколко вида големи кафяви морски водорасли, които растат по дъното на океана). Характерно за тях е, че те непрекъснато се движат под въздействието на морските вълни и течения. Системата наподобява комплект от три свързани големи шамандури с височина от 25 метра, които са прикрепени към платформа за дъното. В основата на конструкцията е разположена подвижна ос, която позволява на шамандурите да се накланят напред-назад под въздействието на вълните. Генерираната по този начин кинетична енергия се преобразува в електричество с помощта на генератор и след това се пренася по кабел към брега. В случай на тайфун или цунами шамандурите се пълнят с вода и цялата конструкция ляга на дъното, което я предпазва от разрушаване.

Специалисти от британска компания наскоро представиха прототип на друго подводно съоръжение. То представлява *дълга каучукова тръба, пълна с вода*, затворена в двата си края. При успешни резултати от изпитанията на прототипа, компанията възнамерява да създаде модул с дължина около 200 m и диаметър 7 m, който ще генерира 1 MW електроенергия на стойност от около 18 стотинки за 1 kWh. Съоръжението, изработено от каучук, в единия си край е прикрепено към дъното, а другият му край плува хоризонтално, точно под повърхността на водата. Когато насрещните вълни достигат челно тръбата, тя се деформира със скорост, с която се движат вълните. Деформацията става все по-голяма с приближаването към турбината и я задвижва с максимална мощност.

Крайбрежните инсталации

Крайбрежните инсталации са монтирани директно на морския бряг и използват енергията на вълните, движещи се по брега.

Първоначално, при получаване на електричество от енергията на морето се обръщаше внимание на периодичните колебания в силите на гравитацията, тоест на изливите и потоците.

Средната амплитуда на приливни колебания, дължащи се на гравитацията на Луната в открито море, е около 1 m. Въпреки това, на брега с различни форми и геоложки особености, той може да достигне 20 m. Поради тази причина е препоръчително да се инсталират приливни електроцентрали директно на брега а не в открито море. За оптимално използване на изливането и потока средната амплитуда трябва да бъде най-малко 5 m.

Входовете на резервоара регулират входящите и изходящите водни потоци. При отлив те се отварят така, че водата да тече от морето в него. По време на понижаване на морското равнище бравите остават затворени, докато максималната разлика във височината между резервоара и морската повърхност не се достигне при отлив.

Изравняването на потенциалните енергийни разлики между басейна и морето се случва поради изхвърляне на маса вода след отваряне на амортизатора. В пътя на потока е инсталирана турбина и кинетичната енергия се преобразува в електрическа енергия.

Наред с възможността да се използват както отпадъчни води при отлив, така и приливна вода, такава електроцентрала, която има много резервоари, различни тур-

бини и акумулативни помпи, повишава степента на ефективност на производството на енергия или се адаптира към периода на пиково натоварване. Като цяло степента на ефективност може да достигне 92%.

Най-известната електроцентрала от този тип се намира в Бретан. Тя има мощност 240 MW и е първообраз на по-мощния тип централи. Предимствата и недостатъците на този тип централи са показани в Табл. 1.

Таблица 1

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Висока ефективност ▪ Възможност за създаване на инсталации от различни видове и размери ▪ Интегрирана защита на бреговата ивица ▪ Кратък път да бъдат свързани към местната електрическа мрежа 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Промяна в естествените морски течения ▪ Отлагане на пясък в резервоара ▪ Нарушение на корабните маршрути край брега ▪ Зависещи от приливи и отливи закъснения в доставката на енергия от електроцентрали без помпи под налягане ▪ Незаконно нарушение на природния пейзаж, а именно монтирането на бетонни конструкции ▪ Възможно изравняване на брега и необходимостта от изграждане на задържащ резервоар на заден план ▪ Негативно влияние върху външния вид на крайбрежния пейзаж ▪ Необходимост от честотна конверсия до 50 Hz ▪ Високи инвестиционни разходи и дълго време за строителство

Електроцентрала с осцилиращ воден стълб.

Друг вид крайбрежна електроцентрала има конструкцията, работеща на основа на колебанието на височината на воден стълб.

При увеличаването и намаляването на височината на повърхността на водата се задвижва въздушна камера, която задвижва турбината. В този случай скоростта на разпространение на морската вълна с понижаване на нивото на водата става по-малка, а амплитудата е по-голяма.

Таблица 2.

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Висока ефективност при използване на подходящи механизми за подаване на турбина и въздух ▪ Възможност за създаване на инсталации от различни видове и размери ▪ Интегрирана защита на бреговата ивица ▪ Защита на турбината срещу корозия от солена вода, т.к. тя се задвижва от въздуха ▪ Лесен монтаж и поддръжка благодарение на бреговата защита 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Незаконно нарушение на природния пейзаж, а именно монтирането на бетонни конструкции ▪ Негативно влияние върху външния вид на крайбрежния пейзаж ▪ Необходимостта от честотна конверсия до 50 Hz ▪ Ограничена устойчивост на екстремни вълни и бурни вълни

Такъв тип електроцентрала се състои от голямо кухо пространство под формата на бетонна конструкция с един отвор под нивото на водата в посока към морето, поради което вълните я изпълват.

Втори отвор заедно с турбината е разположен над морското равнище и служи за балансиране на налягането с околната среда. Вълната, влизаща в камерата през долния отвор, повишава нивото на водата вътре в нея и компресираща въздуха, разположен в нея. Той излиза през горния отвор и задвижва турбина.

По време на отлив, в резултат на намаляване на налягането вътре в кухото пространство, въздухът се всмуква през горния отвор и турбината отново се движи. По този начин, поради осцилиращия воден стълб при отлив, въздушният поток се насочва от камерата, а при отлив възниква противоположен въздушен поток.

Последицата от това е променящата се посока на въртене на турбината, което води до загуба на по-голямата част от енергията по време на спиране и технически затруднения с преобразуване на честотите в традиционните 50 Hz [17, 19].

Предимствата и недостатъците на такъв тип централе са показани в Табл. 2.

Друга алтернатива на използването на въздушен поток в двете посоки е турбина, разработена от професора от университета „Кралица Белфаст“ – Алън Уелс и кръстена на него. Тя има лопатки, разположени перпендикулярно на въздушния поток, със симетричен профил. Ако веднъж бъдат приведени в движение, те запазват посоката си на движение, независимо от променящия се въздушен поток. Това стана възможно благодарение на действието на общ двукомпонентен въздушен поток към турбината: от канала на колебания воден стълб и потока около лопатките на турбината, което зависи от скоростта на въртене. Перпендикулярно на възникващия общ поток се появява сила, която действа върху отделните остриета. Това е част от посоката на движение, която действа дори когато потокът на осцилиращия воден стълб е обърнат в същата посока. Поради специалната форма на лопатките, турбината в Уелс има значително по-ниска (50÷70%) степен на ефективност в сравнение с традиционните турбини (90%).

Електроцентрали, разположени близо до брега

Този тип инсталации се монтират се на разстояние от брега до 500 m, на дълбочина до 30 m. Започват да се разработват през 1973 г. в съответствие с английската програма за използване на вълнова енергия.

Таблица 3.

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Висока ефективност при съответната вълнова честота ▪ Възможност за създаване на инсталации от различни видове и размери ▪ Интегрирана защита на бреговата линия поради вълново спиране ▪ Сравнително кратък път да се свърже с мрежата ▪ Липса на нарушение на видимата брегова линия 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Намеса в естествените условия на околната среда, като например монтиране на бетонни конструкции ▪ Леко отрицателно въздействие върху външния вид на крайбрежния пейзаж ▪ Възможно отрицателно въздействие върху корабните маршрути по бреговата ивица ▪ Ограничена устойчивост на екстремни вълни и бури ▪ Опасност от замърсяване на околната среда с хидравлично масло ▪ Промяна в естествените течения на морето

Те имат полутопяема структура, която използва кинетичната енергия на орбиталното движение на морските вълни. Обхватът на такива електроцентрали е пространството пред бреговата ивица с плитка вода. Ефективността на лопатъчната електроцентрала при равномерни вълни в резонансната зона на инсталацията достига 90%. При нормални условия тя е 50%. Благодарение на падащата вълна плаващата структура започва да се върти около оста си. Лопатките на „предавката“ се движат в обратна посока и по този начин хидравличното масло се компресираща в пространството за високо налягане, при което стартира генераторът.

Вълновият бункер е инсталация, която работи на същия принцип като електроцентрала с лопатки. Но при него се използват вертикални плочи вместо плаващата конструкция и цялата инсталация е под вода на дълбочина 7÷15 m. Предимствата и недостатъците са показани в Табл. 3. При бункера за вълни подвижните метални плочи са монтирани вертикално върху бетонна основа. Те са свързани с бутална помпа, която се комбинира директно с генератор или хидравлична система. Множество плочи могат да се комбинират, за да образуват голяма система. Вълните задвижват плочите в колебателно движение и по този начин кинетичната енергия на морската вълна се предава на буталната помпа. Тя от своя страна задвижва директно генератора или чрез отделна турбина на хидравлична система. Мощността на една плоча е 13 kW. Създадена през 2007 г., система с множество плочи достига мощност от 1 MW.

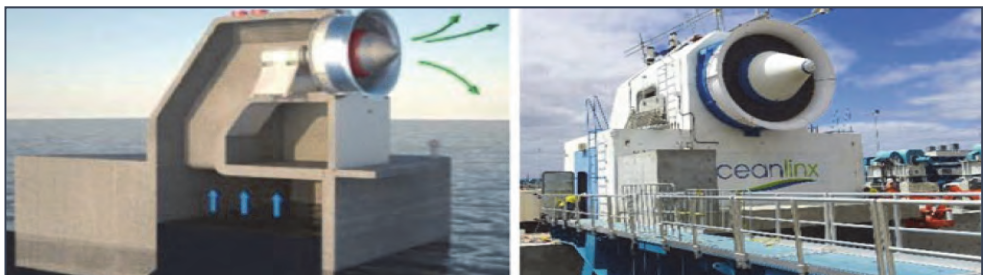
5. Съществуващи и проектни решения на преобразуватели на вълновата енергия

Осцилираща водна колона

Примери за такива инсталации са електроцентралата в Пико на Азорските острови в Португалия (Фиг. 6) и OceanLinx Австралия (Фиг. 7).



Фиг. 6. Pico OWC – схема и действаща инсталация.



Фиг. 7. OceanLinx – схема и действаща инсталация.

LeanCon WEC е плаваща инсталация и също се базира на концепцията за колебания на водни колони (Фиг. 8). Това е голяма структура, покриваща повече от една дължина на вълната с голям брой камери OWC.

Това означава, че получената вертикална сила върху WEC е ограничена. Силите надолу от отрицателното налягане върху части от WEC не позволяват да изплува по върха на вълните и поради това устройството може да има ниско тегло (изградено от материал, подсилен с влакна с висока якост).

Преди въздушният поток да достигне системата за извеждане на мощност (РТО), въздушният поток се коригира от възвратните клапани. По този начин LeanCon използва еднопосочна въздушна турбина, докато повечето други OWC използват турбини Wells.



Фиг. 8. Модел LeanCon в мащаб 1:40: модел в басейн (горе, вляво), прототип 1:10 за тестване в Nissum Bredning, Дания, в процес на изграждане (горе, вдясно) и след разполагане (средна и отдолу).

Вълново активирано тяло

Категорията на тялото, активирано от вълната, обхваща много голямо поле от концепции на WEC.

Relamis WEC е плаващо устройство, съставено от пет тръбни секции, свързани с универсални връзки, които позволяват огъване в две посоки (Фиг. 9).

WEC плува полупотопено по повърхността на водата и по своята същност е насочена към посоката на вълните, поддържана на място от специално система. Вълните преминават по дължината на конструкцията и предизвикват огъване, което се превръща в електричество чрез хидравлични системи, разположени във всяка става на тръ-

бите и мощността се предава на брега с помощта на стандартни подводни кабели и оборудване.



Фиг. 9. E.ON P2 Pelamis, опериращ в Оркни от юли 2011 г.

Подобно на Пеламис, Crestwing е прикачено устройство, използващо относителното движение между телата, активирани от вълната (Фиг. 10). Докато Pelamis събира енергията от 2 степени на свобода (DOF) в общо 4 стави, Crestwing просто използва един DOF за производство на енергия.

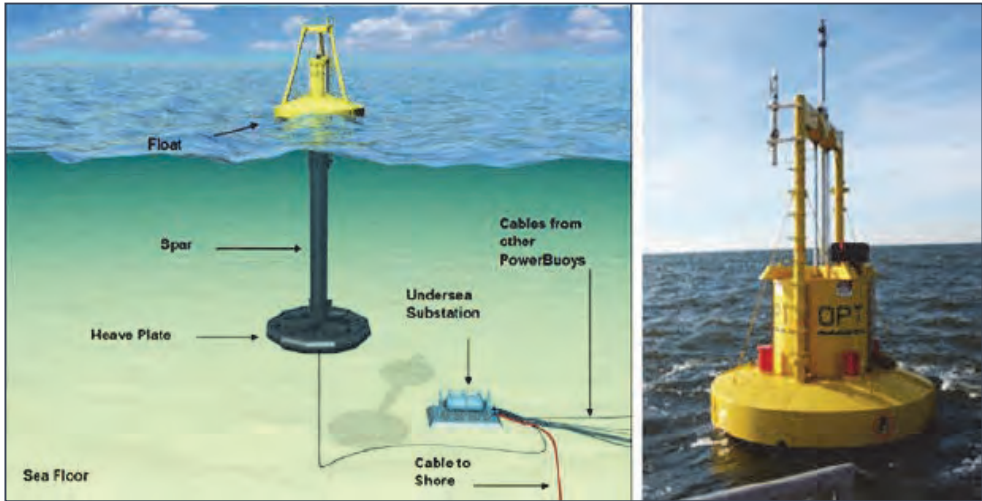
Шарнирните салове на Crestwing са със затворена конструкция на кутията. А РТО на Crestwing е механична система, използваща тресчотен механизъм и колело за преобразуване на колебателното движение между саловите във въртеливо движение на ос, което може да се предава в системата за предавки и генератори.



Фиг. 10. Crestwing, в мащаб 1: 5, тестван близо до Frederikshavn през есента на 2011 г.

Друга група от плаващи WABs включва превеждащи (често вдигащи се) тела. Това включва устройства Ocean Power Technologies (OPT) (Фиг. 11), което е една от редица технологии, използващи точков абсорбатор. OPT PowerBuoy използва контролна табела като ориентир за РТО. OPT използва различни решения за РТО, включително маслена хидравлика.

Други устройства, използващи подобни подходи, включват Wavebob (фиг. 12) и SeaBased (използващи фиксирана референтна точка на морското дъно, където е поставен и РТО, линейен генератор – Фиг. 13).

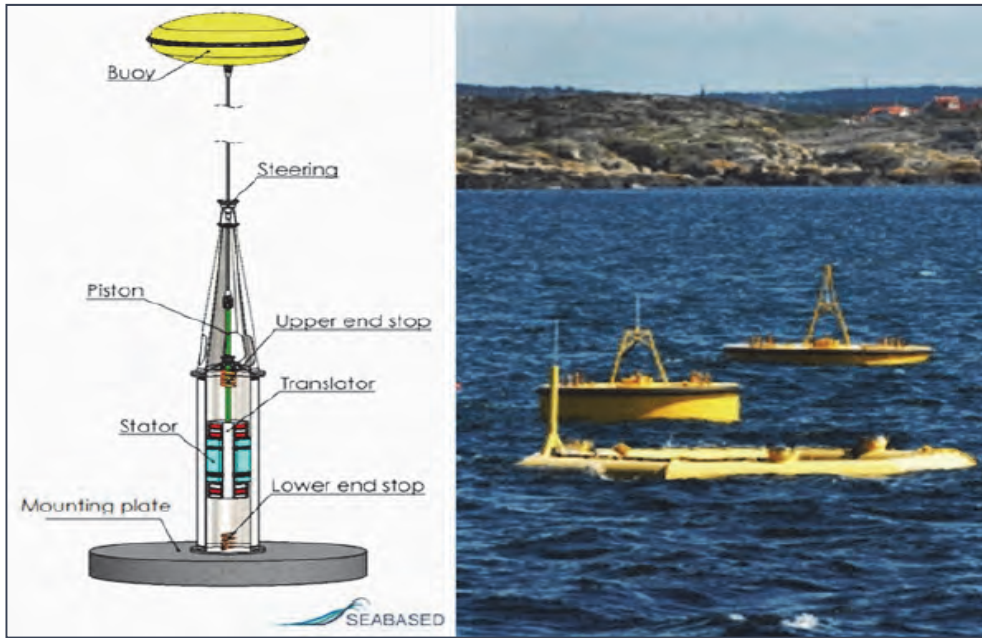


Фиг. 11. OPC PowerБууу РВ40. Абсорбатор с вертикална плоча.



Фиг. 12. Wavebob.

Като пример за потопена шамандура може да се посочи WAB Carnegies СЕТО. В устройството СЕТО самата шамандура е изцяло потопена и задържана на място, посредством предпазен колан, фиксиран на морското дъно (Фиг. 14).



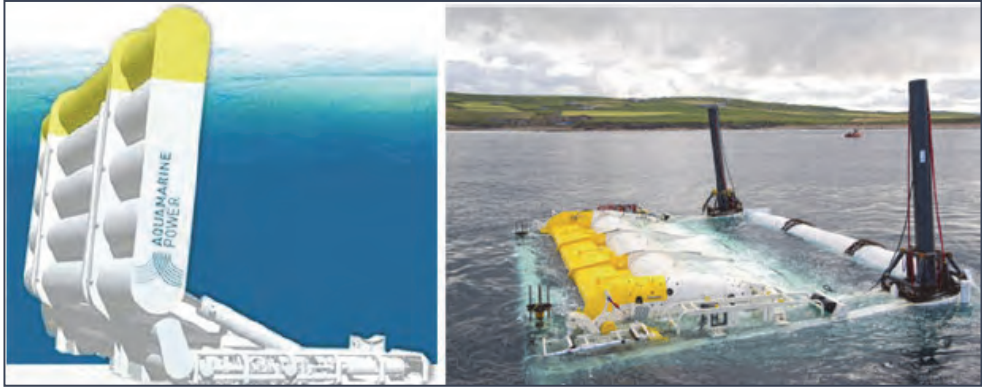
Фиг. 13. SeaBased – Точков абсорбер с директно задвижван линеен генератор, поставен на морското дъно.



Фиг. 14. Карнеги СЕТО. Потопяем точков абсорбатор.

Има и друга група от неподвижни WAB, специално потопени капацити, захванати към на морското дъно. Този тип включва Oyster, разработен от Aquamarine, представен през 2001 г. от екипа на професор Тревър Уиткакър от университета в Куинс в Белфаст.

Клапата се премества напред и назад от вълните, а мощността се извежда чрез хидравлични помпи, монтирани между клапата и конструкцията, прикрепена към морското дъно. Последното поколение Oyster 800 е с инсталирана мощност от 800 kW. Той е с ширина 26 m и височина 12 m и е монтиран на дълбочина 13 m, на около 500 m от брега на Оркни при ЕМЕС (Фиг. 15) [16, 18, 23].



Фиг. 15. Монтаж на потопения капак WEC на Oyster 800 в Европейския център за морска енергия в Оркни, Шотландия.

В допълнение към гореспоменатите WEC в категория WAB, съществуват и редица устройства, при които множество тела са комбинирани в една по-голяма структура.

Пример за това е устройството Wavestar, което се състои от два реда кръгли поплавци – точкови абсорбатори – прикрепени към мостова конструкция, фиксирана към морското дъно с помощта на стоманени елементи, които се влагат в бетонни основи. Следователно всички подвижни части са над нормалното ниво на морската вода. Устройството е инсталирано на мост, поддържащ поплавците, насочени към посоката на доминиращата вълна.

Когато вълната преминава, поплавките се движат нагоре и надолу, задвижвани от преминаващите вълни, като по този начин изпомпват хидравлична течност в обща хидравлична колекторна система, която произвежда поток от масло под високо налягане в хидравличен двигател, който директно задвижва електрически генератор. Прототип с общо два плавателя (с диаметър 5 m) е подложен на морски изпитания в DanWEC, Hanstholm, Дания (Фиг. 16).



Фиг. 16. Прототип на Wavestar с два поплавъка в DanWEC, Hanstholm.

Концепцията за SSG се основава на принципа на преливане. Системата използва общо три резервоара, разположени един върху друг, за да улавя гребена на входящата вълна и специално проектирана турбина за преобразуване на енергията на водата в механична енергия (системата ще работи много подобно на конвенционална ВЕЦ). Турбината ще бъде свързана към електрическа система за генериране на електричество за мрежата или за генериране на водород. Има значително въздействие върху околната среда – ако е на брега, напълно ще заема плажа, на който е инсталирана [16].

III. ТЕХНО-ИКОНОМИЧЕСКО РАЗВИТИЕ НА WEC СИСТЕМИТЕ

Разработването на WEC, от добра идея, до демонстриране на търговски жизнеспособна WEC, е трудоемък процес. Ако технологията е добра и ефективна внедряването ѝ се очаква да отнеме около 15 години при разходи от порядъка на милиони евро (в най-добрия случай).

Технологиите, които се разработват, най-вероятно никога няма да достигнат до комерсиализация, тъй като не са в състояние да произведат пазарна конкурентоспособна електроенергия или не успяват да получат необходимото финансиране, за да продължат да бъдат развивани.

За да се избегне използването на големи ресурси за развитието на дадена технология, нейният потенциал за производство на електроенергия на база пазарна цена трябва да се оценява непрекъснато.

Скалите за нивото на техническата ефективност (TPL) и нивото на техническата готовност (TRL) се използват специално за оценяване на техническата зрялост (TRL) и икономическия потенциал (TPL) на една нова технология. Те са много удобни, тъй като улесняват сравнението между различни развиващи се технологии, дори извън вълновия енергиен сектор.

Важен компонент от оценката на резултатите е технико-икономическата симулация и оптимизация, това в идеалния случай комбинира симулацията на физическите процеси в поглъщането на вълнова енергия с оперативна симулация, финансова оценка и числени техники за оптимизация [13, 14, 15].

Скалата TPL е фокусирана върху ефективността като комбинация от социална, екологична и правна приемливост, поглъщане и преобразуване на енергия, наличност на системата, капиталови разходи и оперативни разходи. Допълнителен акцент на TPL е формулирането и автоматизирането на оценките на производителността. Важен компонент от оценката на резултатите е технико-икономическата симулация и оптимизация, това в идеалния случай комбинира симулацията на физическите процеси в поглъщането на вълнова енергия с оперативна симулация, финансова оценка и числени техники за оптимизация (Табл. 4).

Таблица 4. Нива на технологични показатели (TRL)

TRL	Категория	Производителност
9	Висока: Технологията е икономически жизнеспособна и конкурентоспособна като форма на възобновяема енергия	Конкурентен с други източници на енергия без специален механизъм за подкрепа
8		Конкурентен с други източници на енергия с механизъм за устойчива подкрепа
7		Конкурентен с други възобновяеми енергийни източници с благоприятен механизъм за подкрепа
6	Средна: Технологията има някои характеристики за потенциална икономическа жизнеспособност при отличителни пазарни и оперативни условия. Необходими са технологични и/или концептуални подобрения	Мнозинството от основните характеристики и експлоатационните фактори на разходите задоволяват потенциалната икономическа жизнеспособност при отличителни и благоприятни пазарни и оперативни условия
5		За да се постигне икономическа жизнеспособност при отличителни и благоприятни пазарни и оперативни условия, са необходими някои ключови подобрения на внедряването на технологиите
4		За да се постигне икономическа жизнеспособност при отличителни и благоприятни пазарни и оперативни условия, са необходими някои ключови технологии и внедряване на основни концептуални подобрения.
3	Ниска: Технологията не е икономически изгодна	Незначителността на основните характеристики на работата и стимулирането на разходите не удовлетворява потенциалната икономическа жизнеспособност
2		Някои от основните характеристики на работата и разходите не задоволяват потенциалната икономическа жизнеспособност
1		Повечето основни характеристики на работата и стимулирането на разходите не удовлетворяват и не представляват пречка пред потенциалната икономическа жизнеспособност

IV. ПЕРСПЕКТИВИ ЗА ИЗПОЛЗВАНЕТО НА ВЪЛНОВИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В ЧЕРНО МОРЕ

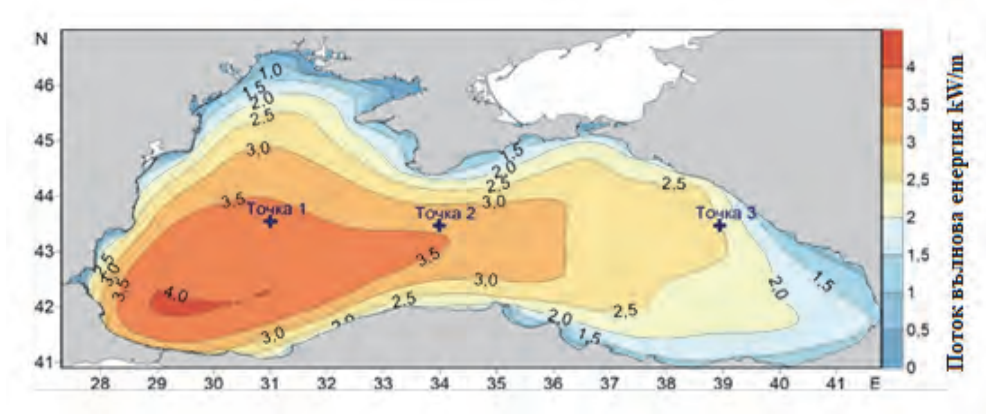
Черноморската вятърна турбулентност е слабо проучена, тъй като практически няма редовни инструментални наблюдения на вълновите процеси в открито море. Развиващите се в силни бури вятърни вълни могат да се окажат сериозна пречка за практическите дейности в морето и по крайбрежието и представляват значителна заплаха за навигацията може да повреди или унищожи инженерните съоръжения, а напоследък да остарее и да загуби при изследванията и производството на въгледороди и други ресурси.

Основните характеристики на вълнението в откритите водни райони са определени въз основа на числени изчисления за цялото море. През цялата година западната част на морето се отличава с по-висока скорост в сравнение с останалите морски води (с изключение на северозападната част на морето). Средните скорости на вятъра, наблюдавани в открито море, са по-големи от тези на брега; през студената половина в западната половина на Черно море средната скорост надвишава 7 m/s , в отделни региони тя достига до 8 m/s , докато на брега не надвишава 7 m/s [19, 21, 22]

Средната скорост на вятъра през зимните месеци значително надвишава лятната скорост, като преобладават ветровете от север-север. С приближаването на лятото броят на случаите със североизточни, източни, югоизточни и южни ветрове постепенно се увеличава, най-малко са западните и югозападните ветрове.

В зависимост от характера на вятърната активност над морето, силно вълнение се развива най-често през есента и зимата. За морските акватории, в зависимост от скоростта на вятъра и ускорението на вълновия вектор, доминират вълни с височина $1\text{-}3 \text{ m}$, максималната височина на вълната може да достигне $5\text{-}6 \text{ m}$, а при особено силни бури тя е по-висока.

Разпределението на дългосрочните средни стойности на вълновия енергиен поток в Черно море е показано на Фиг. 17. В западната част на морето се наблюдават стойности от $3\text{-}4 \text{ kW/m}$, в източната част е приблизително два пъти по-малко.



Фиг. 17. Среден дългосрочен (1979 - 2016 г.) вълнов енергиен поток (kW/m) в Черно море. Кръстчетата показват местоположението на точките за анализ на междугодишната и сезонната променливост.

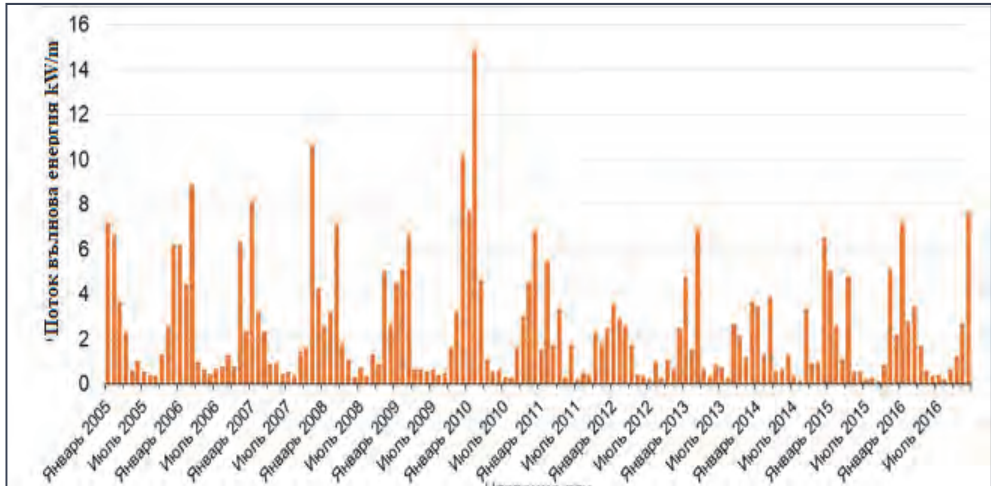
Потоъкът на вълновата енергия варира значително във времето, затова е необходимо да се разгледа подробно неговата междугодишна и сезонна вариабилност. По принцип променливостта на енергийния поток между съседни години достига $0,7\text{-}1,2 \text{ kW/m}$. В западната част потокът на вълновата енергия е почти винаги по-висок, отколкото в централната и източната на морето.

Известно е, че през зимата активността на бурите в Черно море е по-висока, отколкото през лятото.

Фиг. 18 представя средната стойност на енергийния поток за периода 1979-2016 г. при осигуряване на вълнова енергия над 1 kW/m за всеки от месеците в годината. Най-голямата сигурност се наблюдава през декември и януари и възлиза на 70% за западната част на морето.

През май и юни се спазват минимални нива на сигурност.

Тъй като потребителите на електроенергия са разположени главно на сушата, за предпочитане е да се поставят вълнови централи в крайбрежната зона. Изчисленията на потенциала на енергията на вълната са извършени в неструктурна мрежа, поради което получените оценки могат да се считат за правилни за крайбрежната зона.



Фиг. 18. Средно-месечни стойности на вълновия енергиен поток за периода 2005-2016 г. за конкретна точка.

Установено е, че най-обещаващите райони за инсталиране на вълнови електроцентрали са на нос Калиакра, регион Ахтопол-Царево [24, 25].

Обещаваща е и крайбрежната зона от Истанбул до нос Синоп.

По отношение на приложимостта на вълновата енергия като възобновяем енергиен ресурс, заключенията, които отчитат прогнозите за климата, е малко вероятно да са оптимистични за избора на съществуващи модели електрически генератори и могат да имат някои приложения само в комбинирани преобразуватели на вятърна енергия.

Заклучение

Широкото използване на достъпна електроенергия, преобразувана от океански и морски вълни, би било приказно постижение. Освен, че технологията за преобразуване на вълновата енергия (WEC) е особено интересна, тя има и няколко значителни ползи за обществото:

- Това е друг устойчив и безкраен енергиен източник, който може значително да допринесе за микса от възобновяема енергия. Като цяло увеличаването на количеството и разнообразието на микса от възобновяеми енергийни източници е много полезно, тъй като увеличава наличността и намалява нуждата от изкопаеми горива;
- Електрическата енергия, получена от вълнова енергия ще направи държавите по-самостоятелни в енергетиката и по този начин, по-малко зависими от вноса на енергия от други страни;
- Ще има възможност да се създаде нов сектор, съдържащ и иновации и заетост;

- Електрическата енергия от океанските и морски вълни може да се произвежда в морето, което по този начин не се изисква земя, нито има значително визуално въздействие.

Тъй като световните енергийни нужди ще продължават да се увеличават, докато запасите от изкопаеми горива ще се изчерпват, енергията на вълните ще придобие значително значение.

Литература

- [1]. Сейменлийски К. Д., Електротехнически фактори влияещи върху себестойността и цената на електрическата енергия, ISBN 978-954-760-244-1, Колор Принт, Варна 2011 г., 173 с.
- [2]. Камен Д. Сейменлийски, Ц. Т. Цанев, Г. С. Тянова, Ограничаване на неблагоприятното влияние на преобразователни устройства върху качеството на електрическата енергия, Списание „Електротехника и Електроника“, бр. 3-4/1994 г.; ISSN: 0861-4717, 1994 г., Издание на „СЕЕС“, с. 22-26.
- [3]. К. Сейменлийски, Ст. Моллова, П. Рахнев, Състояние на тарифната политика на електроенергийната система на България, Юбилейна НК – 10 години от създаването на НВУ „Васил Левски“, 2012, том 8, ISBN 978-954-753-095-9, стр. 101-105, Издателски комплекс на НВУ „В. Левски“.
- [4]. Kamen Seymenliyski, Radoslav Simionov, Изследване взаимодействието между енергийните системи на Република България и Република Северна Македония, Годишник БСУ, 2020, ISSN: 1311-221X, 25 с.
- [5]. Ушева М., Р. Пенова, С. Савов, К. Костадинов, К. Сейменлийски, Теоретична електротехника във въпроси и отговори, БСУ, ISBN 954-731-205-9, „Димант“ – Бургас, 2003 г., 161 с.
- [6]. Радостин Долчинков, Камен Сейменлийски, Иван Попов, Замърсяване на черно море в резултат на пожар на танкер, Синя икономика, МНК Синя икономика БСУ 2018, с 419 – 428, Сборник доклади, ISBN 978-619-7126-57-0, Печатница „ЕКС-ПРЕС“ ООД – Габрово
- [7]. Радослав Симионов, Здравко Караджов, Бъдещи перспективи за развитие на PV централи в България и ЕС – политика на Европейският съюз, БСУ – Годишник, Том XLI, ISSN: 1311-221X, 2020, стр. 86 - 94
- [8]. Сейменлийски К. Д., Електротехнически и философски аспекти на формите на съществуване на материята, ISBN 978-954-760-245-8, „Колор Принт“, АД, Варна, 2011 г., 37 с.
- [9]. Долчинков Р., Управление на риска при опасно събитие, Годишник на БСУ, ISSN: 1311-221-X, том XXXVIII, стр.36-41, 2018.
- [10]. Долчинков Р., Механизми и машини във ВЕИ, Електронно списание на ЦИТН за компютърни науки и комуникации, бр. 3, ISSN 1314-7846, стр. 31-42, 2013.
- [11]. Долчинков Р., Георгиева П., Светодиодно осветление с вятърна и слънчева енергия, Електронно списание за компютърни науки и комуникации, бр.1, ISSN 1314-7846, стр. 48-57, 2012.
- [12]. Долчинков Р., Пенка Георгиева, Ефективност на системи за слънчево проследяване, Годишник БСУ, том XXVII, ISBN 1311-221-X, стр. 243-255, 2012.
- [13]. К. Сейменлийски, Приложение на структурните числа за анализ на трифазни вериги, Годишник 2006, БСУ, Том XV, ISSN 1311-221-X, 2006 г., стр. 201-206, Издателство „Ирита“ ЕООД, Казанлък.

- [14]. Stoyanka Mollova, Radoslav Simionov, Kamen Seymenliyski, A Study of the Energy Efficiency of a Computer Cluster, ICTRS '18, October 8–9, 2018, Barcelona, Spain, <https://doi.org/10.1145/3278161.3278168>, Proceedings of the Seventh International Conference on Telecommunications and Remote Sensing, ISBN: 978-1-4503-6580-2, p. 51-54.
- [15]. Здравко Караджов, Радослав Симионов, Бъдещи перспективи за развитие на PV централи в България и ЕС – технически фактори, БСУ – Годишник, Том XLI, ISSN: 1311-221X, 2020, стр. 368 – 376.
- [16]. A. Pecher and J. P. Kofod (eds.), Handbook of Ocean Wave Energy, Ocean Engineering & Oceanography 7, DOI 10.1007/978-3-319-39889-1_11
- [17]. Станкевич Д. О., Николаев А. Г и др., Исследование №2 „Новые энергетические технологии“ распространяется среди Членов Ассоциации «НП Совет рынка», Москва, Май 2017
- [18]. B Drew, A. R. Plummer, and MN Sahinkaya, A review of wave energy converter technology, REVIEWPAPER 887-901, DOI: 10.1243/09576509JPE782, Proc. IMechE Vol. 223 Part A: J. Power and Energy
- [19]. Александр Яковлевич Макаров, Энергия морских волн: за и против, Журнал Главного Инженера /№ 7/ июль 2019, 42-54 с., <http://gl-engineer.com>.
- [20]. Tunde Aderinto and Hua Li, OceanWave Energy Converters: Status and Challenges, Energies 2018, 11, 1250; DOI:10.3390/en11051250, www.mdpi.com/journal/energies
- [21]. Аванесов А. Д., Болобошко Д. С., Ланин Е. Б., Огурцов Г. К., Обзор вариантов преобразователей морских волн и их сравнительная оценка, Научные исследования № 1 (12). 2017, 95-97
- [22]. Mustafa SAĞLAM, Egemen SULUKAN, Tanay Sıdkı UYAR, Wave Energy And Technical Potential of Turkey, Journal of Naval Science and Engineering, 2010, Vol. 6 , No.2, pp. 34-50
- [23]. James R Joubert, Johannes L van Niekerk, Josh Reinecke, Imke Meyer, Wave Energy Converters (WECs), Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies, October 2013, Matieland, South Africa, <http://www.sun.ac.za/crses>
- [24]. Detelin Markov, Rositsa Velichkova, Iskra Simova, Nikolay Valchev, Evaluation of Theoretical and Accessible Wave Power Resources Along the Bulgarian Littoral (Western Black Sea), Conference Paper, September 2018, <https://www.researchgate.net/publication/330536416>, DOI: 10.1109/EFEA.2018.8617057
- [25]. Detelin Markov, Nikolay Valchev, Rositsa Velichkova, On The Utilization Of The Wind Waves Energy Along The Bulgarian Black Sea Coast, Proceedings Of University Of Ruse - 2017, volume 56, book 1.2., 73-79