

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА НА МОРСКИТЕ ВЪЛНИ – ОСНОВНИ ПРИНЦИПИ

Доц. д-р Нели Димитрова Тризлова
Варненски свободен университет „Черноризец Храбър“ – Варна

Резюме: Енергията от морските и океански вълни е напълно незамърсяващ и възобновяем енергиен източник, който не излъчва парникови газове по време на работа. Това я прави привлекателна алтернатива на изкопаемите горива. Енергийният източник (вятър и вода) е безплатен, естествен и неизчерпаем. Разгледани са основните принципи на преобразуване на вълновата енергия. Направена е класификация на основните преобразуватели на вълнова енергия и са посочени техните принципи на действие. Направени са изводи за ефективността на тези системи.

Ключови думи: вълнова енергия, преобразуватели на вълнова енергия

USING THE ENERGY OF SEA WAVES – BASIC PRINCIPLES

Assoc. Prof. Dr. Neli Dimitrova Trizlova
Varna Free University “Chernorizets Hrabar” – Varna

Abstract: The energy from sea and ocean waves is a completely non-polluting and renewable energy source that does not emit greenhouse gases during operation. This makes it an attractive alternative to fossil fuels. The energy source (wind and water) is free, natural and inexhaustible. The basic principles of wave energy conversion are examined. A classification of the main wave energy converters is made and their principles of operation are indicated. Conclusions are drawn about the effectiveness of these systems.

Key words: wave energy, wave energy converters

1. Въведение в енергията на вълните

1.1. Определение и основни принципи при преобразуване на енергията

Същността на енергията на вълните е да пренася и улавя енергия от повърхностните океански вълни, която впоследствие може да бъде преобразувана в полезна работа като производство на електричество, обезсоляване на вода и изпомпване на вода. Океанските вълни се генерират от взаимодействието на вятъра с морската повърхност, при което кинетична енергия се прехвърля от по-бързо движещия се въздух към повърхностния слой на океана[1].

Докато вълните се движат, те носят както кинетична енергия (поради движението си), така и потенциална енергия (поради височината си над морското равнище).

Специализирани устройства, известни като преобразуватели на вълнова енергия (ПВЕ), са проектирани да улавят това движение и да го преобразуват в използваема електроенергия. Енергията на океанските вълни е концентрирана на повърхността и бързо намалява с дълбочината. Наличието на кинетична и потенциална енергия на вълните налага разработването на разнообразни конструкции на ПВЕ. Различните технологии са оптимизирани за улавяне на различни аспекти на вълновото движение, като вертикално повдигане, хоризонтално движение или промени в налягането. Тази присъща сложност при улавянето на енергия допринася за разнообразието от архетипи на ПВЕ, наблюдавани на пазара, тъй като няма един универсален подход, който да е най-ефективен при всички условия[2].

1.2. Историческо развитие и еволюция на вълновата енергия

Идеята за оползотворяване на енергията от вълните датира от векове, като първият патент е издаден в Париж през 1799 г. на Пиер-Симон Жирар (Pierre-Simon Girard). Устройството, което той и сина му са патентовали, представлява прост сал, който се движи нагоре-надолу заедно с вълните. Това движение е задвижвало система от множество въжета и ролки на брега, които задвижват триони и помпи, например за напояване.

След първите патенти като този на **Пиер-Симон Жирар** от края на XVIII век, през XIX век и началото на XX век, вълновата енергия е била обект на множество индивидуални изобретатели и инженери. Повечето идеи от този период са били фокусирани върху директното механично преобразуване на движението на вълните. Целта често е била да се задвижват помпи, мелници или други машини, а не толкова директно генериране на електричество (въпреки че електрификацията вече е била в ход).

Патентите от онова време показват голямо разнообразие от концепции – от плаващи салове и буйове, които се движат нагоре-надолу, до устройства, които използват натиска на вълните върху лостове и зъбни колела[3].

Устройствата са били предимно самостоятелни, без идеята за интегрирани "вълнови ферми" или свързване към електрическа мрежа в днешния смисъл. Основното предизвикателство, както и днес, е било да се създаде устройство, което да е **достатъчно здраво и издръжливо**, за да издържи на суровите условия в океана, и **същевременно ефективно и икономически изгодно**. Много от тези ранни прототипи и идеи не са успели да преодолеят тези технически и финансови пречки[4].

В днешно време изобретения в областта на вълновата енергия са направени в Япония през 40-те години на миналия век . Йошио Масуда разработва осцилиращата водна колона (ОВК) за навигационни шамандури и провежда обширни тестове, включително с баржата KAIMEI.

Световният интерес към вълновата енергия преживява значително възраждане през 70-те години на миналия век, особено след петролната криза от 1973 г. Това подтиква правителствата (напр. британското, норвежкото) да стартират амбициозни изследователски и развойни дейности. През този период се появяват и изобретения като "Патицата на Салтър" на Стивън Салтър. Един малък 75 kW прототип на ОВК на брега на шотландския остров Айла (1991 г.) е сред най-успешните ранни европейски дейности[5].

Цикличният характер на интереса към вълновата енергия, често подтикван от енергийни кризи, подчертава нейното стратегическо значение като потенциална алтернатива. Това обаче също така показва, че нейната комерсиализация исторически е била изправена пред постоянни предизвикателства, които възпрепятстват устойчивото ѝ приемане по време на периоди на енергийно изобилие. Дългата история на патенти и ранни прототипи показва трайно убеждение в потенциала ѝ, въпреки трудностите.

2. Технологии за преобразуване на вълнова енергия

2.1. Класификация и принципи на работа на преобразувателите на вълнова енергия (ПВЕ)

ПВЕ са устройства, които преобразуват кинетичната и потенциалната енергия на океанските вълни в полезна механична или електрическа енергия. Те могат да бъдат разположени на различни места: на брега, близо до брега или в открито море, като повечето устройства, разположени близо до брега или в открито море, са закотвени към морското дъно. Поради разнообразния характер на вълните в различни региони, голямо разнообразие от ПВЕ са в различни етапи на изследване и развитие, като обикновено са проектирани да бъдат модулни и да се разполагат в масиви за производство на енергия в промишлен мащаб. Разнообразието от конструкции на ПВЕ и места за разполагане е пряк отговор на хетерогенния характер на вълновите ресурси и сложната хидродинамика, свързана с поглъщането на енергия. Тази фрагментация, макар и показателна за продължаващите иновации, също допринася за липсата на един-

единствен "предпочитан" дизайн, което потенциално забавя стандартизацията и комерсиалното мащабиране.

2.2. Подробен преглед на основните видове ПВЕ

Съществуват няколко вида ПВЕ, като всеки от тях използва различни принципи за улавяне на вълновата енергия.

Таблица 1: Основни видове преобразуватели на вълнова енергия (ПВЕ) и техните принципи на работа

Вид ПВЕ	Принцип на работа / Механизъм	Типично място на разполагане	Ключови примери
Точкови абсорбери	Улавят енергия от относителното движение на плаващо тяло (шамандура) спрямо фиксирана структура, използвайки предимно вертикалното (повдигащо) движение на вълните за задвижване на генератор или помпана на флуид.	Повърхностни или потопени, закотвени към морското дъно или потопен елемент.	PowerBuoy (Ocean Power Technologies), Aquabuoys (Finavera)
Осцилиращи водни колони (ОВК)	Използват движението на водна колона в камера, за да компресират и декомпресират въздух, който задвижва двупосочна въздушна турбина.	Фиксирани (на брега) или плаващи (в открито море).	OE 35 buoy (OceanEnergy), прототипът на Айла, ОВК на Масуда
Преобразуватели на вълново налягане (Surge Converters)	Генерират електричество в отговор на хоризонталното (налягащо) движение на вълните, често чрез шарнирно свързан панел, който се движи напред-назад и задвижва генератор или помпа.	Почти винаги напълно потопени, обикновено на морското дъно в плитки води.	WaveRoller (AW-Energy)
Преливащи устройства (Overtopping Devices)	Събират вода от вълни в резервоар, разположен по-високо от морското равнище, след което водата се оттича през нисконапорна хидравлична турбина, подобно на водноелектрическа централа.	На брега или плаващи в открито море.	Tapchan, Wave Dragon, Seawave Slot-cone Generator (SSG)
Атенюатори	Плаващи устройства, които работят успоредно на посоката на вълната, състоящи се от множество сегменти, свързани с панти, които се огъват и задвижват хидравлични помпи или генератори.	Плаващи на повърхността.	Pelamis, Wave Attenuation Devices (WADs)
Въртяща се маса	Устройства, умишлено проектирани да бъдат нестабилни, които се въртят в кръгово движение с вълните, като това движение задвижва вътрешна маса за генериране на електричество.	Плаващи на повърхността.	Wello Penguin

Най-разпространеният тип в световен мащаб е точковият абсорбер.

2.2.1. Точкови абсорбери

Тези плаващи конструкции (фиг.1) [6], често наподобяващи шамандури, поглъщат енергия от относителното движение между активирано от вълните движещо се тяло и фиксирана или относително неподвижна структура, като морското дъно или потопен елемент. Те използват предимно вертикалното (повдигащо) движение на вълните. Докато шамандурата се движи нагоре и надолу, възвратно-постъпателното движение може да бъде оползотворено за генериране на електричество, често чрез изпомпване на флуид или задвижване на линеен генератор. Основният им размер е малък спрямо дължината на вълните, от които поглъщат енергия. Те могат да бъдат разположени на повърхността или потопени. Примери включват PowerBuoy на Ocean Power Technologies и Aquabuoys на Finavera. Макар и прости като концепция и широко разпространени, тяхното излагане на водната повърхност ги прави уязвими на разрушителни метеорологични сили, което води до разработки, включващи потопени елементи или възможност за потапяне. Това демонстрира основен компромис в дизайна между достъпност/простота и устойчивост в сурови морски среди.

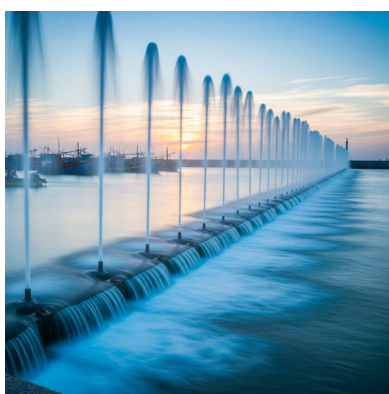


Фиг.1 Преобразувател на вълнова енергия - точков абсорбер[7]

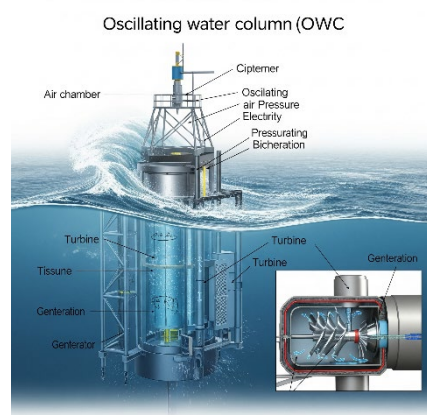
2.2.2. Осцилиращи водни колони (ОВК)

ОВК (фиг.2) са частично потопени, кухи структури с камера, отворена към морето отдолу и към въздуха отгоре (фиг.3) [8,9,10,11,12,13]. Движението нагоре и надолу на изолираната водна колона вътре в камерата, причинено от вълновото движение, действа като бутало, компресирайки и декомпресирайки въздуха над нея. Този осцилиращ въздушен поток задвижва двупосочна въздушна турбина, която след това генерира електричество. Те могат да бъдат фиксирани (на брега) или плаващи (в открито море).

Техните предимства включват относително проста работа и по-малък брой движещи се части, което допринася за ранното им развитие и внедряване. Примери са ОЕ 35 buoy на OceanEnergy, прототипът на Айла и плаващата ОВК на Масуда. Ранното развитие и относителната простота на ОВК я правят основен тип ПВЕ, но зависимостта ѝ от въздушни турбини въвежда специфични екологични предизвикателства като шум, които се нуждаят от внимателно смекчаване. Това илюстрира, че "простотата" в един аспект може да доведе до нови сложности в друг, особено по отношение на екологичната интеграция.



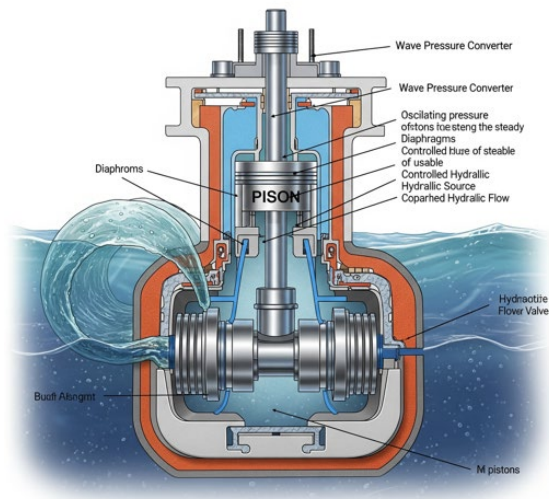
Фиг.2 Осцилиращи водни колони[14]



Фиг.3 Принцип на действие на осцилиращите водни колони[14]

2.2.3. Преобразуватели на вълново налягане (Oscillating Wave Surge Converters)

Тези устройства (фиг.4) [15,16,17,18]. генерират електричество в отговор на хоризонталното (налягащо) движение на вълните. Обикновено включват панел (подобен на врата), свързан към морското дъно чрез панта, който се движи напред-назад с вълновото налягане. Това движение се използва за помпане на флуид или директно за задвижване на генератор. Те почти винаги са напълно потопени, обикновено разположени на морското дъно в плитки води. Пример е WaveRoller на AW-Energy. Тяхната потопена природа предлага защита от разрушителни повърхностни вълни , справяйки се с голямо предизвикателство, пред което са изправени повърхностно базираните ПВЕ.



Фиг.4 Преобразуватели на вълново налягане[15]

Този избор на дизайн дава приоритет на устойчивостта и оцеляването в сурови морски среди, потенциално за сметка на прякото взаимодействие с най-високата енергийна плътност на повърхността.

2.2.4. Преливащи устройства (Overtopping Devices)

Тези устройства действат като помпа[20,21,22], преобразувайки вълновата енергия в потенциална енергия, като позволяват на вълновото движение да запълни резервоар до по-високо водно ниво от околния океан. Събраната в резервоара вода след това се оттича обратно през нисконапорна хидравлична турбина (подобно на конвенционална водноелектрическа централа), генерирайки електричество. Те могат да бъдат на брега или плаващи в открито море. Примери включват Tapchan, Wave Dragon (плаваща офшорна система) и Seawave Slot-cone Generator (SSG) (версия за вълнолом). Аналогията с водноелектрическата енергия подчертава по-традиционен, утвърден метод за преобразуване на енергия, което потенциално прави концепцията по-разбираема и може би по-лесна за интегриране със съществуващата мрежова инфраструктура. Тяхната способност да бъдат интегрирани във вълноломи предлага значителна съпътстваща полза от бреговата защита, което повишава цялостното им предложение за стойност отвъд самото производство на енергия.

2.2.5. Атенюатори

Това са плаващи устройства, които работят успоредно на посоката на вълната (фиг.5). Обикновено се състоят от множество сегменти, свързани с панти. Докато вълните преминават, сегментите се огъват един спрямо друг, и това огъващо движение се преобразува във въртене или задвижва хидравлични помпи за генериране на електричество. Някои конструкции представляват една дълга, гъвкава повърхност. Примери включват Pelamis (известен пример за шарнирно свързани цилиндрични устройства). Устройствата за отслабване на вълните (WADs) са друг тип, предназначени да разпръскват вълновата енергия и също така да осигуряват ползи за възстановяване на бреговата линия. Атенюаторите, чрез своя сегментиран дизайн, са добре приспособени да улавят енергия от по-дълги вълнови фронтове. Развитието на устройства като WADs демонстрира стратегическа промяна към многофункционална морска инфраструктура, която осигурява екологични ползи и ползи за бреговата защита, наред с производството на енергия, което потенциално подобрява общественото приемане и икономическата жизнеспособност.



Фиг.5 Преливащи устройства за преобразуване на вълнова енергия[23].

2.2.6. Други иновативни дизайни (напр. въртяща се маса, терминатори)

● **Въртяща се маса:** Устройства като Wello Penguin са умишлено проектирани да бъдат нестабилни, въртящи се в кръгово движение с вълните. Това движение върти вътрешна маса за генериране на електричество;

● **Терминатори:** Тези ПВЕ са ориентирани перпендикулярно на посоката на входящите вълнови гребени. Често включват стационарен компонент и движещ се

компонент, който пресова въздух или масло за задвижване на турбина. ОВК и преливащите устройства могат да бъдат класифицирани като терминатори. Продължаващите иновации в дизайна на ПВЕ, включително по-малко конвенционални подходи като въртяща се маса и акцентът върху устройствата "Терминатор" заради тяхната мащабируемост, показват активен и развиващ се пейзаж на научни изследвания и разработки. Фокусът върху максимизирането на улавянето на енергия за единица размер на устройството при Терминаторите предполага път към производство на енергия в промишлен мащаб.

2.3. Системи за отвеждане на мощността и механизми за генериране на енергия

След като движението на вълните е уловено, различни системи за отвеждане на мощността (СТОМ) преобразуват тази механична енергия в използвана електроенергия. Често срещаните механизми включват:

- Линеини или ротационни генератори;
- Хидравлични помпи, които пресоват флуид за задвижване на хидравлични мотори или турбини;
- Въздушни турбини, задвижвани от компресиран въздух;
- Нисконапорни хидравлични турбини.

3. Заключение

Разнообразието в системите за отвеждане на мощността отразява различните механични изходи на различните архетипи на ПВЕ. Ефективността на тези системи е критичен фактор за цялостната ефективност на преобразуване на вълнова енергия в електричество, което представлява значителна област за текущи изследвания и оптимизация за подобряване на икономическата жизнеспособност на вълновата енергия.

ЛИТЕРАТУРА:

1. <https://library.fiveable.me/key-terms/principles-physics-i/wave-energy>
2. <https://www.lidsen.com/journals/jept/jept-06-01-005>

3. <https://kis-orca.org/renewable-energy/wave-tidal-devices-overview/wave-device-principles/>
4. <https://www.mdpi.com/2077-1312/12/2/342>
5. <https://www.ocean-energy-systems.org/what-is-ocean-energy/waves/overtopping-devices/>
6. science.howstuffworks.com, How Wave Energy Works - Science | HowStuffWorks
7. www.oceanpowertechnologies.com
8. tethys-engineering.pnnl.gov, Overtopping | Tethys Engineering
9. livingshorelinesolutions.com, Living Shoreline Solutions - Wave Attenuation Devices
10. atargis.com, Atargis CycWEC
11. tethys-engineering.pnnl.gov, Attenuator | Tethys Engineering
12. tethys-engineering.pnnl.gov, Point Absorber - Tethys Engineering
13. manoa.hawaii.edu, Climate Connection: Wave Power | manoa.hawaii.edu/ExploringOurFluidEarth
14. <https://www.flickr.com/photos/manal2011/>
15. [oscillating water column / air turbine / wave energy](#)
16. solarreviews.com, www.solarreviews.com
17. planete-energies.com, www.planete-energies.com
18. nrel.gov, www.nrel.gov
19. open.edu, 5 Environmental impact of wave energy technology - The Open University
20. bbc.co.uk, Wave power - BBC Bitesize
21. nrel.gov, A Window Into the Future of Wave Energy - NREL
22. planete-energies.com, Ocean Energy Challenges | Planète Énergies
23. <https://www.oldsaltblog.com/2022/09/waveline-magnet-prototype-undulating-wave-energy-converter/>
24. ecoflow.com, Wind Power vs. Solar Energy - EcoFlow
25. mewburn.com, Motion of the ocean - Wave energy converters - Mewburn Ellis

Wave Energy | Open Energy Information