УДК 621.311.2 **doi: 10.20998/2224-0349.2022.02.02**

Н. П. САВЧЕНКО

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ МОРСЬКОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ КОНКУРЕНЦІЇ З ІНШИМИ ВИДАМИ НЕТРАДИЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

Світова енергетична криза зумовлена нестачею традиційних джерел енергії, що веде до збільшення їх вартості та обмеження доступності у необхідній кількості для повноцінного та ефективного функціонування енергетичних систем. Тому цілком логічним є пошук нових науково-технічних рішень щодо розвитку альтернативної енергетики з відновлюваними джерелами енергії, які є екологічно «чистими» та їх використання не веде до порушення природного кліматичного балансу з незворотними наслідками. Сучасна альтернативна енергетика в основному базується на перетворенні енергії сонця і вітру, а технології їх побудови передбачають наземну локацію, що веде до заняття великих площ під електростанції. Поряд з цим такі електростанції мають ряд кліматичних, сезонних та добових обмежень за потужністю виробництва електроенергії, що веде до коливань енергетичного балансу системи зі збільшенням їхньої кількості. Для усунення провалів та сплесків енергії в енергосистемі при використанні відновлювальних джерел енергії необхідним є впровадження накопичувачів енергії, які у свою чергу на даному етапі свого розвитку є неекологічними хімічними акумуляторами, які також потребують заняття великих площ та певних технічних умов для коректної роботи. Таким чином, розвиток морської енергетики може стати у перспективі вирішенням низки питань щодо усунення дестабілізації роботи світової енергосистеми та дати повну енергонезалежність від традиційних джерел енергії. Світовий океан має безмежні запаси відновлюваної енергії, тому їхнє раціональне вилучення та використання є запорукою зростання обсягів виробництва електроенергії в умовах збільшення її споживання, що приведе до загального зниження кризових явищ в енергетичній галузі багатьох країн. Питання розвитку морської енергетики як окремого виду у складі альтернативної відновлюваної енергетики є першочерговим і відповідно розробка технологічних рішень щодо створення морських електростанцій з принципово різними способами виробництва електроенергії потребує великих економічних вкладень у дослідження щодо їх впровадження. У перспективі морська енергетика може стати одним із основних джерел відновлюваної екологічної електроенергії.

Ключові слова: відновлювальна енергетика, приливні електростанції, хвильові електростанції, гідравлічна енергія течії, підводне зберігання енергії.

N. P. SAVCHENKO

PROSPECTS FOR THE APPLICATION OF MARINE ENERGY UNDER COMPETITION WITH OTHER TYPES OF UNCONVENTIONAL SOURCES

The global energy crisis is due to the lack of traditional energy sources, which leads to an increase in their cost and limited availability in the required quantity for the full and efficient functioning of energy systems. Therefore, it is quite logical to search for new scientific and technical solutions for the development of alternative energy with renewable energy sources, which are environmentally “clean” and their use does not lead to a violation of the natural climate balance. Modern alternative energy is mainly based on the conversion of solar and wind energy, and the technologies for their construction provide for ground location, which leads to the occupation of vast areas for power plants. Along with this, such power plants have a number of climatic, seasonal and daily restrictions on the power of electricity production, which leads to fluctuations in the energy balance of the system with an increase in their number. To eliminate dips and bursts of energy in the energy system when using renewable sources, it is necessary to introduce energy storage devices, which in turn at this stage of their development are non-environmental chemical batteries, which also require large areas and certain technical conditions for correct operation. Thus, the development of marine energy can in the future become a solution to a number of issues to eliminate the destabilization of the global energy system and provide complete energy independence from traditional energy sources. The oceans have unlimited reserves of renewable energy and their rational extraction and use is the key to the growth of electricity production in the face of increased consumption, which will lead to a general reduction in the crisis in the energy industry in many countries. The issue of developing marine energy as a separate type as part of alternative renewable energy is a priority and, accordingly, the development of technological solutions for the creation of offshore power plants with fundamentally different methods of generating electricity requires huge economic investments in research on their implementation. In the future, marine energy can be one of the main sources of renewable environmentally friendly electricity.

Keywords: renewable energy, tidal power plants, wave power plants, hydraulic current energy, underwater energy storage.

Постановка задачі. Проблема безперебійного енергозабезпечення країн світу стала поштовхом до розвитку великої кількості різноманітних технологій альтернативної енергетики. Більшість цих технологій вже впроваджено та активно застосовуються при цьому здебільшого вони мають наземну локацію, але все одно їх недостатньо для повного задоволення потреб у дешевих енергоресурсах. Морська енергетика у майбутньому може стати саме тим важелем, завдяки якому альтернативна енергетика буде основним джерелом енергоресурсів. Таким чином, дослідження питання стосовно визначення оптимальних комбінацій технологій морської енергетики є запорукою подальшого їх розвитку та вдосконаленню.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання розвитку альтернативної енергетики з відновлювальними джерелами енергії є досить актуальними і їм на часі приділяється багато уваги у роботах як вітчизняних, так і закордонних науковців, але здебільшого ці праці присвячені сонячній та вітровій енергетиці. Морській гідроенергетиці незаслужено приділялось мало уваги. Основою для проведення дослідження питань перспектив розвитку в умовах конкуренції з наземними електростанціями, побудованими по технології відновлювальної енергетики, послужили наукові праці як вітчизняних так і зарубіжних авторів [1–4, 8–10].

Також важливим питанням, що на сьогодення заслуговує уваги, є новітні розробки комбінування

© Н. П. Савченко, 2022

різноманітних технологій відновлювальних джерел наземної та морської локації з системами зберігання енергії у морських просторах [5–7].

Мета дослідження. Виявлення потенціалу подальшого розвитку морської альтернативної енергетики у загальному процесі вироблення електроенергії в умовах як конкуренції, так і співпраці з іншими видами нетрадиційних відновлювальних джерел.

Основний матеріал. Енергетичний потенціал морської альтернативної енергетики практично є нескінченим і за підрахунками приблизно складає 10 ТВт, що могло б збільшити практично вдвічі виробництво електроенергії у світі, але з сучасними технологіями здобуття такої кількості енергії поки що неможливе і може лише досягати 10–20 % від загальної кількості виробленої електроенергії.

Для розуміння технічних рішень щодо енергогенерації з енергії світового океану на рис. 1 наведено класифікацію відомих видів перетворення.

Особливістю припливних електростанцій (ПЕС) є використання ними природної відновлювальної енергії морських припливів, природа яких пов'язана з припливоутворюючою силою, що виникає при гравітаційній взаємодії Землі з Місяцем і Сонцем. Для водяної оболонки Землі практичне значення має лише горизонтальна складова припливоутворюючої сили [6].

Для спорудження ПЕС необхідні сприятливі природні умови, що включають: значні припливи (А > 3–5 м); контур берегової лінії (бажано з утворенням затоки), який дозволяє відділити від моря басейн для роботи електростанції при мінімальній довжині та висоті перегороджуючої греблі, сприятливі геологічні умови її підмурку [6].

Існує два режими дії ПЕС:

1. Режим з простим циклом, який триває від 1 до 2 годин, тобто від початку і до кінця припливу.

2. Режим зі складним циклом, який триває 4–5 годин і повністю захоплює весь час припливу та відливу.

Потужність ПЕС залежить від наступних факторів:

- сили та циклічності припливів;
- кількості та обсягів водосховищ;
- чисельності турбін та генераторів, встановлених у греблі.

Різновиди приливних електростанцій наведені на рис. 2.

ПЕС мають ряд переваг, що дозволяє їм бути конкурентоспроможними у порівнянні з альтернативними джерелами наземної локації, а подальший їх розвиток та вдосконалення стане кроком до вирішення питання енергетичної кризи. Практично всі приливні електростанції мають наступні позитивні якості:

1. Екологічна чистота виробленої енергії та найменший вплив на екосистему.

2. Тривалий термін експлуатації та безпечна конструктивна ремонтопридатність.

3. Можливість точного передбачення кількісті виробленої електроенергії та низька залежність від погодних умов.

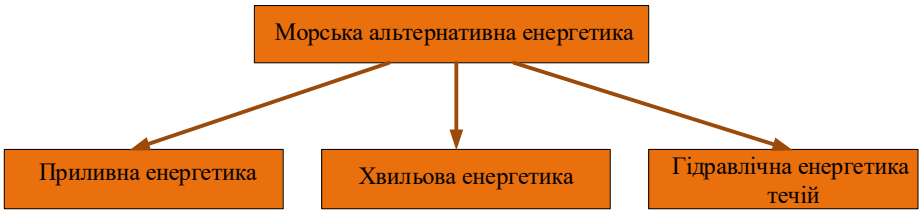

Рисунок 1 – Класифікація видів перетворення енергії

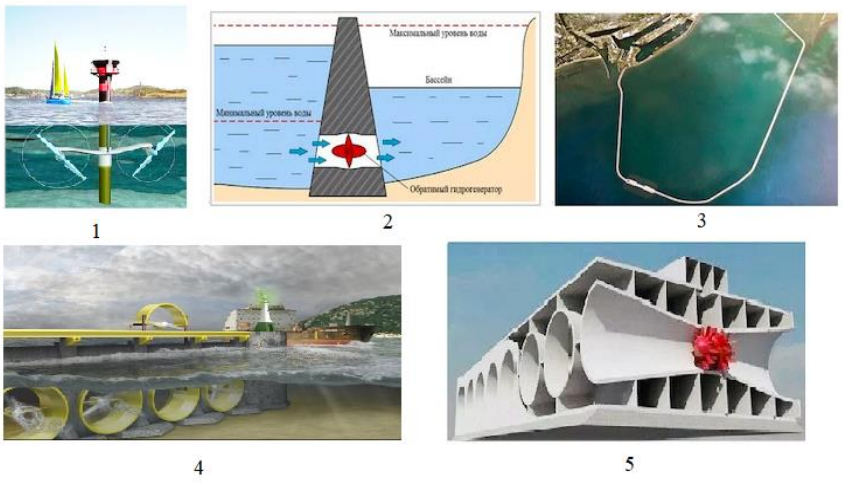

Рисунок 2 –Різновиди ПЕС:
1 – Генератор приливного потоку; 2 – Припливно-відливна з різною висотою водного потоку під час припливу та відливу; 3 – ПЕС типу «приливний млин»; 4 і 5 – Динамічні ПЕС

4. Аварійне руйнування греблі не призводить до катастрофи, як це може статися на звичайній гідроелектростанції.

5. Низька економічна вартість електроенергії.

Недоліками ПЕС є:

1. Залежність від циклічності припливів і відливів та відповідно обмеження часу електрогенерації.

2. Довгий термін окупності.

3. Зайняття узбережної території.

4. Труднощі будівництва з причини специфічності ланшафту.

За максимальною величиною припливу найбільш придатні території знаходяться у Канаді в затоці Фанді на узбережжі Атлантичного океану, Великобританії у заплаві р. Северн, на півночі Франції та у Камчатському краї в Пенжинській затоці Охотського моря.

Найбільш потужна ПЕС побудована у Франції (рис. 3).

Рисунок 3 – Перша та найпотужніша у світі ПЕС «Ля Ранс», Франція

Рух води морів і океанів на сьогодення є одним із найпотужніших джерел альтернативної енергії, які тільки існують. Нарівні з припливами і відливами хвилі і течії вже досліджуються науковцями не один рік у питанні ефективного використання цього невичерпного природного ресурсу. Саме хвильова енергетика посідає перше місце у електрогенерації.

Привабливість використання хвиль у якості відновлювального джерела енергії полягає в першу чергу в їх високій питомій потужності, яка за своїм рівнем перевищує показники сонячної та вітрової енергетики. Коефіцієнт перетворення енергії хвиль може сягати 85 %.

Згідно досліджень потенціалу хвильової енергетики були виявлені найкращі географічні місця їх розташування. Результати цих досліджень наведені на рис. 4 та 5 [6, 8].

Різні типи хвильових установок відрізняються тією складовою енергії вітрових хвиль (різновидом кінетичної або потенціальної енергії), яку робоче тіло установки перетворює в інший вид енергії [6]. На рис. 6 наведені основні різновиди хвильових електростанцій.

Наведені конструкції на рис. 6 є класичними і в усьому світі ведуться розробки по їх постійному вдосконаленню і вже на сьогодення їх моделей нараховується досить багато.

Переваги хвильової енергетики:

1. Хвильова електростанція виконує роль хвилегасників задля захисту берегової лінії та ландшафту від руйнування.

2. Мобільні конструкції хвильових електрогенераторів можна монтувати на мостових опорах, причалах, а також можливо і на суднах.

3. Значний сумарний потенціал та збільшення потужності в осінньо-зимовий період.

Недоліками хвильової енергетики є:

1. Штормова хвиля може завдати руйнування водяними турбінам.

2. Деякі моделі хвильових генераторів можуть становити реальну загрозу для безпеки мореплавання.

Таким чином, перетворення енергії морських хвиль є досить перспективним напрямком альтернативної електроенергетики і конкурентноспроможним варіантом електрогенерації.

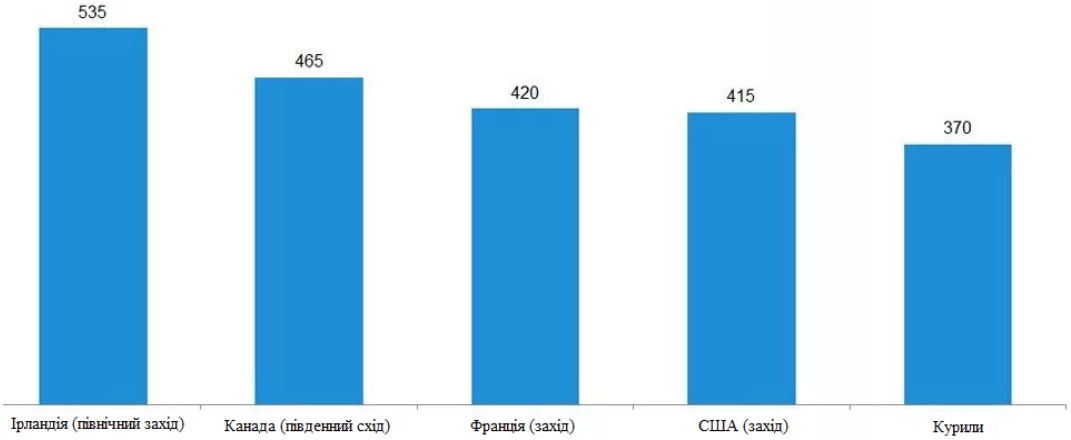

Рисунок 4 – Регіони з рекордною енергією хвиль, що виробляється, на погонний метр (МВт·ч)

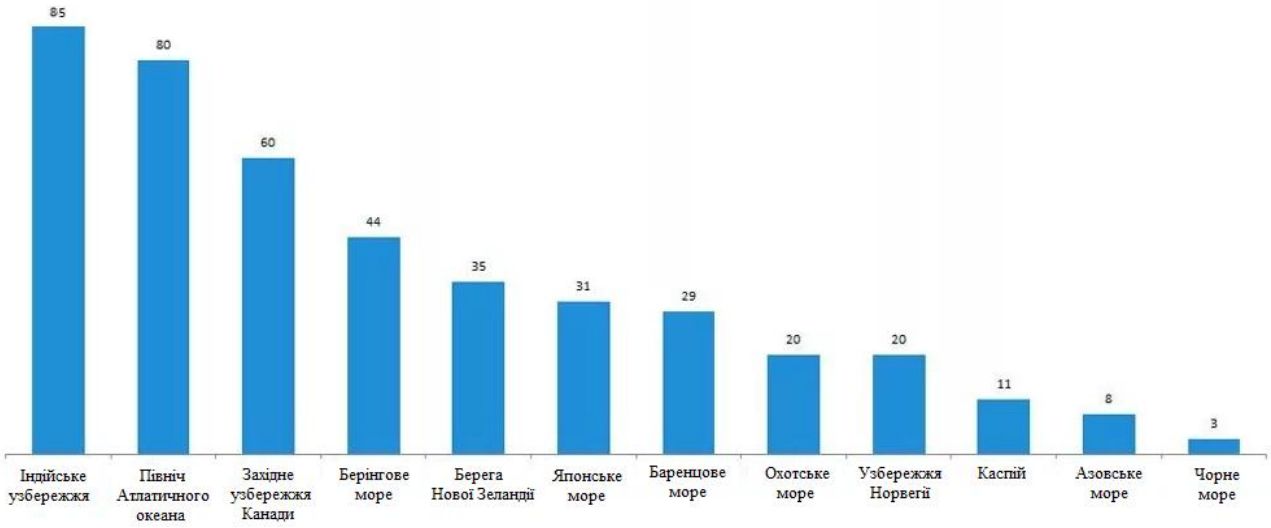

Рисунок 5 – Питома енергія хвиль на погонний метр (МВт)

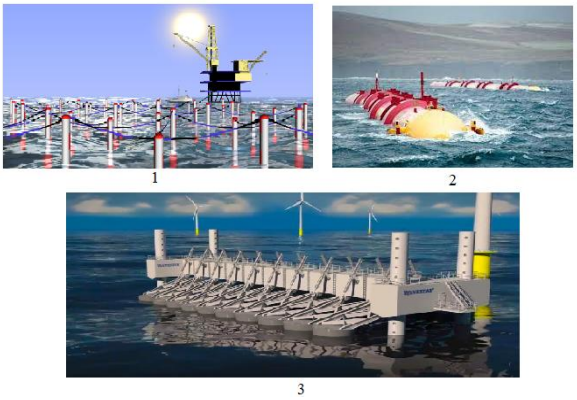

Рисунок 6 – Різновиди хвильових електростанцій:
1 – Поплавкові; 2 – Турбінні; 3 – Гідравлічні

В останні роки також проводяться широкомасштабні дослідження практичного використання гідравлічного потенціалу відомих течій в морях і океанах. Течії поділяють на неперіодичні, мусонні (пасатні) й припливно-відпливні. Найбільша увага приділяється вивченню можливості використання енергії головних неперіодичних течій (Гольфстрім, Куросіо та ін.), сумарний енергетичний потенціал яких за різними методиками оцінюється від 5 до 300 млрд. кВт. Такі різкі розходження в оцінках можна пояснити різницями в методиках розрахунку, відсутністю достатньо обґрунтованих уявлень відносно можливих параметрів використання енергії течій, екологічних наслідків, а також відсутністю практичного досвіду [6].

Але ця технологія попередньо оцінюється можливістю використання до 1–2 % енергії течій в морях і океанах без негативних екологічних наслідків. Перевагами такої електрогенерації є висока забезпеченість потужності та закономірність зміни потужності в часі протягом року [6]. Тому на часі дослідження ще тривають і не мають широкого застосування.

Також необхідно зазначити, що альтернативні джерела наземної локації, а саме вітроустановки та сонячні електростанції можуть також встановлюватись на платформах на морських просторах, як окремо так і разом у вигляді гібридних електростанцій з джерелами морської альтернативної енергетики.

З розвитком технологій морської альтернативної енергетики також виникла й проблема зберігання електричної енергії.

Краще вирішення цієї проблеми належить стартапу Ocean Grazer, яким було створено систему Ocean Battery. Вона призначена для встановлення на морському дні поряд з офшорними генераторами відновлюваної енергії, такими як вітряні турбіни, сонячні плавучі ферми, систем, які використовують енергію припливів і хвиль. Ocean Battery складається з трьох компонентів, які разом функціонують за тим же принципом, що гідроелектростанція [7]. Зовнішній вид системи наведений на рис. 7.

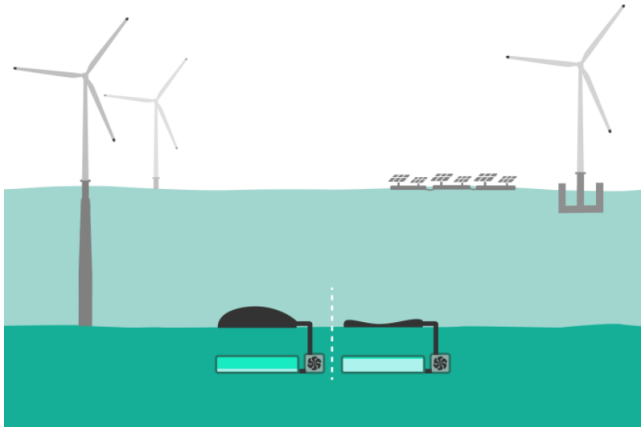

Рисунок 7 – Схема системи Ocean Battery

Сама концепція підводного зберігання енергії Ocean Battery схожа на гідроакумулятор, в якому відновлювана енергія використовується для перекачування води у водосховище. Ефективність системи становить 70–80 % і має необмежену кількість циклів заряд-розряд протягом довгострокового терміну служби понад 20 років.

Також систему можна масштабувати, тобто підключати необхідну кількість пристроїв на відповідну потужність, причому потужність кожного конкретного резервуара становить 10 МВт·ч. Якщо швидко потрібно більше енергії, можна додати додаткові блоки насосного та турбінного обладнання [7].

Висновки. У результаті теоретичного дослідження перспектив розвитку морської альтернативної енергетики будо виявлено, що вона має дуже великий потенціал, який значно перевищує сонячний та вітровий наземної локації. Таким чином, подальше вдосконалення технологічних рішень побудови приливних та хвильових електростанцій та одночасне їх використання у гібридних системах, доповнених системою підводного зберігання енергії, приведе до вирішення проблем енергетичної кризи багатьох країн світу.

Список літератури

1. Бігорда Т. Морська енергетика також генерує поновлювані джерела енергії. *Renovables Verdes*. URL: https://www.renovablesverdes.com/uk/морська-енергетика-також-генерує-відновлювану-енергію (дата звернення: 10.10.2022).
2. Шевченко О. В Європі «набирає обертів» розвиток морської вітроенергетики. *GreenPost*. URL: https://greenpost.ua/news/v-yevropi-nabyraye-obertiv-rozvytok-morskoyi-vitroenergetyky-i47564 (дата звернення: 15.10.2022).
3. Mattiazzo G. State of the art and perspectives of wave energy in the Mediterranean Sea: backstage of ISWEC. *Frontiers in Energy Research*. 2019. Vol. 7. P. 114. DOI: https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00114.
4. Diez-Caballero K., Troiteiro S., García-Alba J. et al. Environmental compatibility of the Parc Tramuntana offshore wind project in relation to marine ecosystems. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2022. Vol. 10, no. 7. P. 898. DOI: https://doi.org/10.3390/jmse10070898.
5. Гурков А. Морські вітропарки стануть основою електроенергетики Європи. *Deutsche Welle*. URL: https://www.dw.com/uk/morski-vitroparki-stanut-osnovou-elektroenergetiki-evropi/a-63149975 (date of access: 25.10.2022).
6. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Київ, 2013. Кн. 5 : Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі.
7. Шевченко А. Інженери придумали систему зберігання відновлюваної енергії на дні моря. *Цікавості*. URL: https://cikavosti.com/inzhenery-prydumaly-systemu-zberihannia-vidnovliuvanoi-enerhii-na-dni-moria/ (дата звернення: 27.10.2022).
8. Van Rij J., Yu Y.-H., Edwards K., Mekhiche M. Ocean power technology design optimization. *International Journal of Marine Energy*. 2017. Vol. 20. P. 97–108. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijome.2017.07.010.
9. C. Li, M. Othman, N. B. Ahamad, M. Molinas marine integrated energy microgrids. 2022. 5 с. (Препринт. arXiv:2208.12980). URL: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2208/2208.12980.pdf (дата звернення: 28.10.2022).
10. Advancing marine energy: an abundant, untapped renewable resource. *Energy.gov*. URL: https://www.energy.gov/eere/water/articles/advancing-marine-energy-abundant-untapped-renewable-resource (дата звернення: 28.10.2022).

References

1. T. Bigorda. “Marine energy also generates renewable energy.” Renovables Verdes. https://www.renovablesverdes.com/en/la-energia-marina-tambien-genera-energias-renovables/ (accessed Oct. 10, 2022).
2. O. Shevchenko. «V Yevropi “nabyraie obertiv” rozvytok morskoi vitroenerhetyky [Development of offshore wind energy is “gaining momentum” in Europe].» GreenPost. https://greenpost.ua/news/v-yevropi-nabyraye-obertiv-rozvytok-morskoyi-vitroenergetyky-i47564 (accessed Oct. 15, 2022).
3. G. Mattiazzo, “State of the art and perspectives of wave energy in the Mediterranean Sea: Backstage of ISWEC,” Frontiers in Energy Research, vol. 7, p. 114, Oct. 2019, doi: https://doi.org/10.3389/fenrg.2019.00114.
4. K. Diez-Caballero et al., “Environmental compatibility of the parc tramuntana offshore wind project in relation to marine ecosystems,” *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 10, no. 7, p. 898, Jun. 2022, doi: https://doi.org/10.3390/jmse10070898.
5. A. Hurkov. “Morski vitroparky stanut osnovoiu elektroenerhetyky Yevropy [Offshore wind farms will become the basis of the European power industry].” Deutsche Welle. https://www.dw.com/uk/morski-vitroparki-stanut-osnovou-elektroenergetiki-evropi/a-63149975 (accessed Oct. 25, 2022).
6. *Enerhetyka: Istoriia, Suchasnist I Maibutnie [Energy: History, Present and Future], vol. 5, Elektroenerhetyka ta okhorona navkolyshnoho seredovyshcha. Funktsionuvannia enerhetyky v suchasnomu sviti [Electricity and environmental protection. Functioning of energy in the modern world]*. Kyiv, 2013.
7. A. Shevchenko. “Inzhenery prydumaly systemu zberihannia vidnovliuvanoi enerhii na dni moria [Engineers have invented a renewable energy storage system at the bottom of the sea].” Cikavosti. https://cikavosti.com/inzhenery-prydumaly-systemu-zberihannia-vidnovliuvanoi-enerhii-na-dni-moria/ (accessed Oct. 27, 2022).
8. J. van Rij, Y.-H. Yu, K. Edwards, and M. Mekhiche, “Ocean power technology design optimization,” *International Journal of Marine Energy*, vol. 20, pp. 97–108, Dec. 2017, doi: https://doi.org/10.1016/j.ijome.2017.07.010.
9. C. Li, M. Othman, N. B. Ahamad, and M. Molinas, “Marine integrated energy microgrids,” to be published. Accessed: Oct. 28, 2022. [Online]. Available: https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/2208/2208.12980.pdf
10. “Advancing marine energy: An abundant, untapped renewable resource.” Energy.gov. https://www.energy.gov/eere/water/articles/advancing-marine-energy-abundant-untapped-renewable-resource (accessed Oct. 28, 2022).

Надійшла (received) 30.09.2022

Відомості про автора (-ів) / About the Author (-s)

Савченко Наталя Панасівна (Natalia Savchenko) – кандидат технічних наук, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», доцент кафедри електричної інженерії; м. Луцьк, Україна; ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7046-0633; e-mail: natalia.savchenko@donntu.edu.ua.