

П. Ф. Васько¹
 А. В. Мороз¹
 С. Т. Пазич¹

НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ НА ОСНОВІ МОРСЬКОЇ ГІДРОАКУМУЛЮВАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

¹Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

Розглянуто варіанти створення морської гідроакумуляційної електростанції на Азово-Чорноморському узбережжі для відновлюваних джерел енергії.

Ключові слова: вітроенергетика, фотоенергетика, гідроакумуляція, електростанція.

Вступ

Використання енергії вітро- та фотоелектричних станцій (ВЕС, ФЕС) в системах автономного енергозабезпечення об'єктів знаходить широке розповсюдження і вже стало незаперечним фактом та довело свою конкурентоздатність стосовно традиційних енергетичних технологій. Ефективність і надійність електропостачання на основі ВЕС та ФЕС досягається в результаті застосування накопичувачів енергії, що компенсують нестабільність та непередбачуваність зміни потужності генерувальних установок внаслідок добової нерівномірності надходження енергії відновлюваних джерел.

Згідно з положеннями Директиви 2009/28/ЄС використання відновлюваної енергетики в країнах ЄС на кінець 2020 року передбачено на рівні 20 % від загального обсягу споживаної енергії. Рішенням Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/MC-EnC визначено, що в Україні обсяг використання енергії відновлюваних джерел в загальній структурі енергопостачання країни повинен складати 11 % на кінець 2020 року. Національний план дій України з відновлюваної енергетики на період до 2020 року (затверджено Розпорядженням КМ України від 1 жовтня 2014 № 902-р) передбачає в період 2014—2020 років збільшення потужності вітроенергетики з 497 МВт до 2280 МВт, а сонячної енергетики — з 819 МВт до 2300 МВт. Відповідно до енергетичної стратегії 2035, яка розробляється, частка відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) до 2025 року має становити 12 %, а до 2035 року — 25 %, включно з усіма гідроелектростанціями і геотермальними станціями.

Інтегрування зазначених обсягів відновлюваної енергетики в діючі електроенергетичні системи потребує вирішення складних технологічних і організаційних завдань, зумовлених такими факторами:

- графік виробництва енергії ВЕС, ФЕС має імовірнісний характер і не збігається з графіком споживання енергії в електроенергетичній системі;
- процес виробництва енергії ВЕС та ФЕС характеризується нестабільністю параметрів електроенергії, зумовленою пульсаціями швидкості вітру і зміною інтенсивності сонячного випромінювання.

Найефективнішими регуляторами для реалізації інтеграції ВЕС та ФЕС до складу електросистеми є гідроелектричні станції, проте їх потенціал в Україні практично вичерпано, а будівництво нових регуляторів на органічному паливі для відновлюваної енергетики є проблематичним (неприйнятним) через відсутність вітчизняних паливних ресурсів в достатніх обсягах.

Альтернативний підхід до вирішення проблеми інтеграції в електроенергетичну систему енергії ВДЕ полягає в її накопиченні з подальшим використанням за заданим графіком, що може бути реалізовано у великих обсягах шляхом застосування гідроакумуляційних електростанцій (ГАЕС) за наявності відповідних гідрологічних і топографічних умов.

Для кліматичних умов території України переважна частка потенціалу ВЕС та ФЕС зосереджена на приморських територіях, що спонукає до дослідження можливості створення морсь-

ких ГАЕС, реалізація яких має декілька варіантів втілення:

- використання традиційного перепаду висот між берегом і поверхнею моря для спорудження басейну-акумулятора та морської води в якості робочого тіла;
- створення морської ГАЕС прямо у морі, коли море являє собою верхній б'єф, а викопаний резервуар в морі — нижній б'єф; або розташування басейну-акумулятора біля берега з використанням заток, бухт, фіордів мілких акваторій, лиманів.

Досвід розроблення та будівництва морських ГАЕС

Деякі з варіантів побудови морських ГАЕС вже реалізовані, а решта залишаються лише проектами. Морську воду для ГАЕС вперше використали в 1999 році в Японії [1] для створення станції потужністю 30 МВт. Згодом, в 2014 році, була введена в експлуатацію друга станція на морській воді потужністю 11 МВт в Іспанії на Канарських островах [2]. В Чилі компанія Valhalla розробила проект створення ГАЕС на морській воді на узбережжі пустелі Атакама потужністю 300 МВт з перепадом висоти між басейном-накопичувачем та морем в 650 метрів [3]. ГАЕС призначена для акумулювання електроенергії ФЕС потужністю 600 МВт з подальшою її передачею в електричну систему. Розпочати будівництво ГАЕС заплановано в 2017 році. Для Чорноморського узбережжя України виконано оцінку економіко-екологічних умов створення ГАЕС на морській воді [4] і рекомендовано місце розташування станції потужністю 800 МВт [5] для акумулювання енергії ВДЕ. Досліджуються можливості спорудження ГАЕС, розташованих в морі [6]. Питання створення морських ГАЕС висвітлені детальніше в публікаціях авторів [7, 8, 9].

Деякі варіанти реалізації морської ГАЕС на Азово-Чорноморському узбережжі

Існує ідея побудови морської ГАЕС прямо в морі зі створенням резервуару шляхом заглиблення в морське дно, коли вибраний ґрунт використовується для спорудження дамби [7]. Така конструкція передбачає утворення кільцевої дамби, де море слугує верхнім б'єфом, а дно резервуару — нижнім. Функціональна схема ГАЕС для ВДЕ показана на рис. 1, а її проектні параметри зведені в таблицю. Основні конструктивні розміри резервуара-акумулятора позначені на рис. 2. Можливо також застосування дамби у формі півкільця з примиканням до берега.

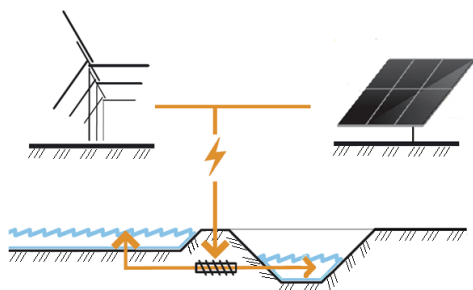


Рис. 1. Функціональна схема комплексу ВЕС, ФЕС — морська ГАЕС

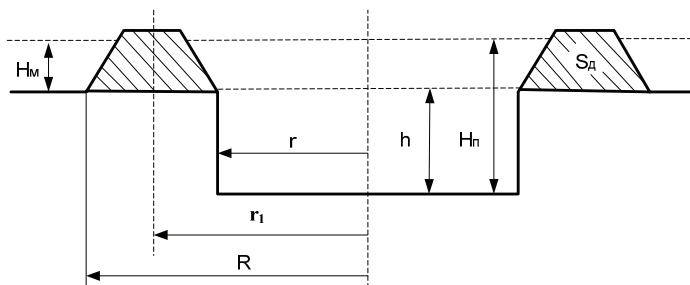


Рис. 2. Схематичний переріз дамби ГАЕС: R — зовнішній радіус дамби; r — внутрішній радіус дамби (радіус резервуару); r_1 — радіус дамби; H_m — глибина моря; h — глибина резервуару; H_n — повна глибина дамби; S_d — площа перерізу дамби

Проектні параметри викопного резервуару

Параметри	Глибина моря (H_m), м			
	5	10	15	20
Глибина резервуару відносно дна моря (h), м	15			
Повна глибина (H_n), м	20	25	30	35
Радіус резервуару (r), м	95	171	268	385
Об'єм накопиченої води, млн м ³	0,58	2,47	7,39	17,88
Об'єм вибраної землі (V_p), млн м ³	0,42	1,38	3,4	7,01
Запас енергії, МВт-год	11,77	62,1	222,28	626,98

Українська територія Азово-Чорноморського узбережжя має багато лиманів, заток та ярів які виходять до моря. Ці природні об'єкти можна розглянути і використати, як потенційний майданчик для створення морської ГАЕС. Зокрема, розглянемо параметри ГАЕС з розташуванням резервуара-накопичувача в береговій зоні Азовського моря на місці лиману поблизу Ботієвської ВЕС (рис. 3). Цей лиман площею 0,425 км² не має прямого виходу до моря. За глибини басейну 10 метрів і глибини мертвого об'єму резервуара 2 метри обсяг електроенергії, що може бути використана при розряді накопичувача, складає біля 28 МВт · год.



Рис. 3 Лиман біля Ботієвської ВЕС

Ще один варіант побудови морської ГАЕС розглянемо на прикладі о. Зміїний в Чорному морі. Система електропостачання споживачів острова складається з дизельної електростанції та ФЕС. Передбачається спорудження вітроелектричної установки. Острів скелястий і має найбільшу висоту 41 м над рівнем моря. Авторами запропоновано створення морської ГАЕС на основі застосування стандартних металевих резервуарів, що використовуються на нафтобазах та в нафтопереробній промисловості. Для такого застосування конструкція кришки резервуара може бути значно спрощена. Умови острова дозволяють розмістити декілька резервуарів для досягнення необхідного рівня запасу енергії (рис. 4). Так, для трьох резервуарів загальним об'ємом 6,3 тис. м³, розташованих на відмітці 20 метрів над рівнем моря, обсяг електроенергії, що може бути використана при розряді резервуарів-накопичувачів, складає біля 0,26 МВт годин.



Рис. 4. Острів Зміїний

Принципова технологічна особливість функціонування морської ГАЕС полягає в необхідності використовувати обладнання зі спеціальним захистом від впливу корозії та реалізації процесів заряду і розряду басейну-акумулятора за зміни напору води від нульового до максимального значення.

Практична реалізація цієї технології функціонування морської ГАЕС вимагає проведення наукових досліджень і розробки відповідних схемо-технічних рішень.

Екологічні аспекти створення морської ГАЕС.

Створення ГАЕС на морській воді вимагає вирішення нових технічних і екологічних завдань в порівнянні з використанням прісної води [10, 11]. Перш за все необхідно виключити просочування морської води з резервуарів в землю шляхом застосування технології гідроізоляції будівельних конструкцій. З самого початку будівництва необхідно вживати спеціальні заходи для пом'якшення впливу на навколишнє середовище: захист довкілля, запобігання виходу брудної води в море, зменшення шуму і вібрації важкого будівельного обладнання, відновлення і рекультивация зони будівництва. Мінімальний перелік досліджуваних екологічних параметрів повинен включати:

- метеорологія, якість повітря, якість води, шум, вібрації, неприємний запах, забруднення ґрунту, осідання ґрунту, топографія, геологія, морські течії, морські явища;

- солоний пил, морський інфільтрат;

- рослинність, рідкісні рослини, склад ґрунту;

- ссавці, птахи, рептилії, амфібії, комахи, фауна ґрунту;

- організми в водотоках;

- корали, риби, бентос, планктон, ікра і мальки, організми припливу, морські водорості, трава.

Фактори ризику в прибережній зоні можуть мати як природний, так і антропогенний характер. Так, наприклад, до потенційних факторів ризику можна віднести і сильний шторм, і інженерні роботи, що проводяться на уразливій ділянці прибережної зони. Оцінка екологічних ризиків допомагає визначити, які місця прибережної зони найкраще підходять для реалізації того чи іншого проекту. Екологічні ризики можна звести до мінімуму, плануючи і здійснюючи певне інженерно-технічне облаштування прибережної зони. Існуючий досвід управління ризиком полягає в такому:

- з'ясувати, які несприятливі події можуть відбутися, і визначити найбільші фактори ризику;

- з'ясувати, з якою ймовірністю можуть відбутися ці події, оцінити небезпеку кожного з них і розглянути заходи щодо їх усунення або зниження ризику їх виникнення;

- вибрати для цього адекватні стратегії;

- оцінити ефективність обраних стратегій.

Кількісна оцінка ризиків створення ГАЕС на морській воді можлива тільки після проведення відповідних попередніх досліджень факторів ризику. Проте досвід будівництва морських портів дає підстави для припущення, що ступінь екологічного ризику морської ГАЕС не вищий, ніж у разі будівництва будь-яких інших споруд на узбережжі, а за відповідного управління ризиками може бути навіть нижчим.

Висновки

1. Технологічна особливість функціонування морської ГАЕС з невеликими напорами, у порівнянні з традиційними рішеннями, полягає в зміні напору води на гідроагрегатах від максимального — до нульового значення при зарядці та розрядці резервуара-акумулятора. Зазначена обставина зумовлює розроблення раціональних схемо-технічних рішень з максимальним використанням електроенергії ВЕС і ФЕС для зарядки ГАЕС та генерування електроенергії за різних напорів і витрат води гідротурбіни.

2. Екологічні ризики будівництва та експлуатації морської ГАЕС повинні характеризувати несприятливі для навколишнього середовища наслідки. Особливої уваги потребують форс-мажорні ризики, зумовлені виникненням різних природних катастроф, таких як землетруси, урагани та шторми, які можуть вплинути на діяльність станції. Підлягають дослідженню і нормативно-законодавчі ризики, зумовлені відсутністю, суперечністю або нечіткою регламентацією виконання операцій зі спорудження морської ГАЕС у відповідних нормативно-правових актах тощо. Важливе значення має і визначення стратегії керування ризиками, для чого необхідно визначити найважливіші фактори ризику, оцінити рівень небезпеки, розглянути заходи з ліквідації або зменшення ризику їх виникнення.

СПИСОК ВИКОРСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Tetsuo Fujihara, Haruo Imano, Katsuhiro Oshima, Development of Pump Turbine for Seawater Pumped-Storage Power Plant // Hitachi Review. — 1998. — Vol. 47, No. 5. — P. 199—202.
2. El Hierro Hydro-Wind Plant [Electronic resource]. — Access mode: <http://www.goronadelviento.es/>.
3. Project Espejo de Tarapacá [Electronic resource]. — Access mode: <http://valhalla.cl/espejo-de-tarapaca/>.
4. Обухов Е. В. Экономико-экологические оценки показателей гидроаккумулирования на побережье Украинского Причерноморья / Е. В. Обухов, Д. В. Холодов ; Одес. гос. экол. ун-т. — Одесса. : Астропринт, 2002. — 254 с. — ISBN 966-549-686-7.
5. Васько П. Ф. Гидроаккумулирующие электростанции на морской воде – технологическая основа крупномасштабного использования ветровой и солнечной энергии в электроэнергетической системе Крыма / П. Ф. Васько, М. Р. Ибрагимова, С. Т. Пазыч // Альтернативная энергетика и экология (ISJAEE). — 2014. — № 15. — С. 38—49. — ISSN 1608-8298.
6. Васько П. Ф. Технические предпосылки создания морских гидроаккумулирующих электростанций для энергии возобновляемых источников / П. Ф. Васько, С. Т. Пазыч // Alternative Energy and Ecology ; ISJAEE. — 2015. — № 15—16 (179—180). — С. 40—46. — ISSN 1608-8298.
7. Пазыч С. Т. Оцінка технічних параметрів морської гідроаккумуляційної станції для енергії відновлюваних джерел / С. Т. Пазыч // Відновлювана енергетика. — 2015. — № 2. — С. 66—71. — ISSN 1819-8058.
8. Пазыч С. Т. Аналіз конструктивних аналогів морських ГАЕС / С. Т. Пазыч // Відновлювана енергетика. — 2015. — № 3. — С. 62—66. — ISSN 1819-8058.
9. Гидроаккумуляционные электростанции — технологична основа інтеграції потужних вітро- та фотоелектричних станцій до складу електроенергетичної системи України / [П. Ф. Васько, А. П. Вербовий, М. Р. Ібрагимова, С. Т. Пазыч] // Гідроенергетика України. — 2017. № 1—2. — С. 20—25. — ISSN 1812-9277.
10. Васько П. Ф. Основные аспекты экологической защиты гидроаккумулирующей электростанции на морской воде (на примере острова Окинава) / П. Ф. Васько, В. И. Постников // Відновлювана енергетика XXI століття : матеріали ІХ Міжнародної конференції. — АР Крим, 2008. — С. 204—206.
11. Васько П. Ф. О факторах экологического риска при создании гидроаккумулирующих электростанций на морской воде / П. Ф. Васько, В. И. Постников // Відновлювана енергетика XXI століття : матер. ІХ Міжнародної конференції. — АР Крим, 2008. — С. 207—209.

Рекомендована кафедрою електричних станцій та систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 12.10.2017

Васько Петро Федосійович — д-р техн. наук, старший науковий співробітник, в.о. завідувача відділу гідроенергетики, e-mail: ivevasko@gmail.com ;

Мороз Анастасія Віталіївна — канд. техн. наук, старший науковий співробітник відділу гідроенергетики;

Пазыч Сергій Тарасович — аспірант відділу гідроенергетики, e-mail: programa8@gmail.com .

Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ

P. F. Vasko¹
A. V. Moroz¹
S. T. Pazych¹

Accumulation of Renewable Energy Based on Marine Pumped Storage Station

¹Institute of Renewable Energy, National Ukrainian Academy of Science

There have been considered the options for creating a marine pumped storage station on seawater on the Azov-Black Sea coast with the use of renewable energy sources.

Keywords: wind power, photovoltaic power, hydro accumulation, marine.

Vasko Petro F. — Dr. Sc. (Eng.), Senior Research Assistant, Acting director, Head of the Chair of Hydropower, e-mail: ivevasko@gmail.com ;

Moroz Anastasia V. — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Assistant of the Chair of Hydropower;

Pazych Sergii T. — Post-Graduate Student the Chair of Hydropower, e-mail: programa8@gmail.com

П. Ф. Васько¹
А. В. Мороз¹
С. Т. Пазыч¹

Накопление энергии возобновляемых источников на базе морской гидроаккумулирующей электростанции

¹Институт возобновляемой энергетики НАН Украины

Рассмотрены варианты создания морской гидроаккумулирующей станции на Азово-Черноморском побережье для возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: ветроэнергетика, фотоэнергетика, гидроаккумуляция, морская.

Васько Петр Федосеевич — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, и.о. заведующего отделом гидроэнергетики, e-mail: ivevasko@gmail.com ;

Мороз Анастасия Витальевна — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела гидроэнергетики;

Пазыч Сергей Тарасович — аспирант отдела гидроэнергетики; e-mail: programa8@gmail.com