

Лобунець Ю.М.

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна

ТЕРМОЕЛЕКТРИКА І ОКЕАН

Лобунець Ю.М.

Розглянуто перспективи застосування термоелектричних генераторів для перетворення теплової енергії океану. Показано, що термоелектричний метод перетворення енергії здатен забезпечити конкурентоздатні техніко-економічні показники в порівнянні з традиційними схемами ОТЕС.

Ключові слова: термоелектричний генератор, тепла енергія океану.

The prospects of using thermoelectric generators for ocean thermal energy conversion are discussed. It is shown that thermoelectric method of power conversion is capable of assuring competitive technical and economic performance as compared to traditional systems of ocean thermal station (OTEC).

Key words: thermoelectric generator, ocean thermal energy

Вступ

Світовий океан покриває більше 70 % земної поверхні. По суті він є величезним природним акумулятором сонячної енергії, завдяки поглинанню якої виникає градієнт температур між поверхневими та глибинними шарами води. У тропічних широтах ця різниця сягає 20 °С (рис.1). За існуючими оцінками з поверхні океану, обмеженої квадратом в один градус широти й довготи, можна одержати 100 млрд. кВт-годин теплової енергії на рік. Тобто це є практично безмежне джерело теплової енергії, яка може бути перетворена на електричну. Однак цей ресурс важко освоїти, оскільки існуючі технології використання теплової енергії океану ще не досягли комерційного рівня.

Починаючи з 70-х років минулого століття проводяться дослідження з використання теплової енергії океану, переважно в двох напрямках - для забезпечення енергією островних споживачів, та для живлення автономних систем (навігаційних та океанологічних буїв і т.ін.).

Ряд реалізованих пілотних проектів [1, 2] підтверджує принципову можливість досягнення прийнятних техніко-економічних показників океанської термоелектричної станції (ОТЕС), але ця технологія поки ще не знаходить промислового використання.

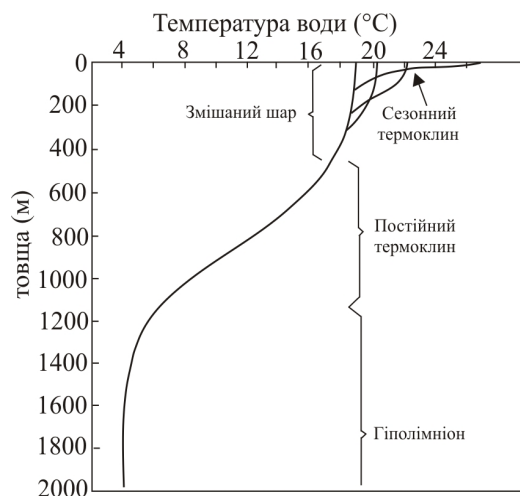


Рис. 1. Розподіл температур в товщі океану.

Дослідженням з цієї проблеми приділяється велика увага в країнах Азійсько – Тихоокеанського регіону. В Японії налічується 15 дослідницьких центрів, які обладнано системами подачі глибинної морської води з обсягом від 500 до 13000 тонн на добу [3]. Найбільший з них, проект «Kumejima» [4] передбачає створення моделі сталого розвитку для малих островів префектури Окінава (Японія), яка базується на використанні глибинної морської води для екологічно чистих енергетичних, сільськогосподарських та аквакультурних технологій. Основою проекту є система подачі холодної морської води, яка забезпечує постачання 13 тис. тонн/добу води з температурою 6...9°C. Цей ресурс використовується для систем кондиціонування приміщень, охолодження продукції та в аквакультурі. В червні 2013 року на острові було введено в дію демонстраційний проект ОТЕС потужністю 50 кВт (рис. 2), [5]. Проект розроблено Інститутом Океанської Енергії університету Сага та компанією Xenesys в співдружності з Лабораторією природної енергії на Гавайях (Natural Energy Laboratory of Hawaii, NELHA). В США провідною компанією в галузі досліджень з проблем енергії океану є Lockheed Martin Corp., яка розробляє проект ОТЕС потужністю 10 МВт [6]. Ще одним великим центром досліджень з проблем ОТЕС є Тайвань.



Рис. 2. Демонстраційний ОТЕС потужністю 50 кВт на острові Кумеїма [5].

Перспективи застосування ТЕГ для перетворення теплової енергії океану

Сучасні проекти ОТЕС орієнтовані на застосування паросилового циклу з низькокиплячим теплоносієм. Недоліком цієї технології є велика металоємність, та суттєва залежність економічних показників від масштабного фактору - мінімальний рівень потужності, який забезпечує прийнятні економічні показники, складає 50 МВт, (рис. 3). Згідно даних [1] вартість електроенергії ОТЕС потужністю 1 МВт складає 0.7 – 0.9 \$США/кВт-годину, а для ОТЕС потужністю 100 МВт – 0.12 \$США/кВт-годину (рис. 4). Останній показник вже може розглядатись як конкурентоздатний порівняно з вартістю електроенергії від традиційних джерел, але реалізація подібних проектів є проблематичною через необхідність значних інвестицій (на рівні 1 млрд. \$США) за умов недостатньо визначених ризиків. В той же час досвід впровадження сучасних систем перетворення відновлюваних джерел енергії (фотоелектричні перетворювачі, вітрогенератори) показує, що їх поширення, незважаючи на високу собівартість електроенергії, стало можливим завдяки використанню систем малої потужності (1 – 100 кВт), й застосуванню для них спеціальних тарифів

(feed-in tariff, FIT), які забезпечують прибутковість експлуатації подібних систем. Нажаль для класичної схеми ОТЕС з паросиловим циклом такий шлях не є можливим через масштабні обмеження.

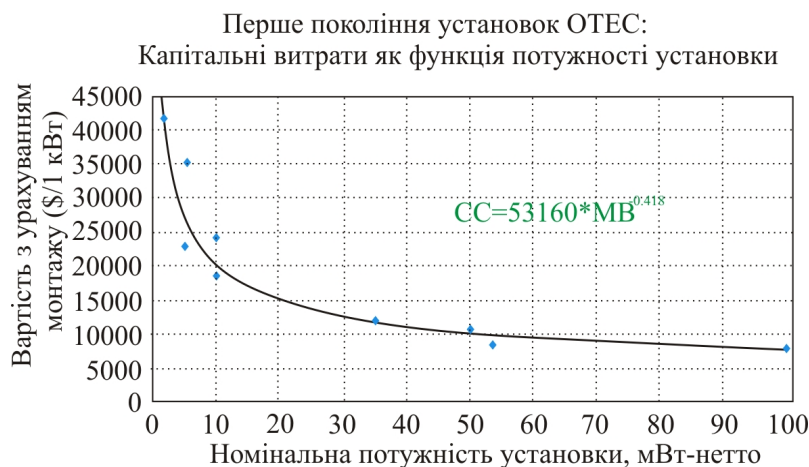


Рис. 3. Залежність питомих капіталовкладень \$/кВт від потужності для ОТЕС [1].

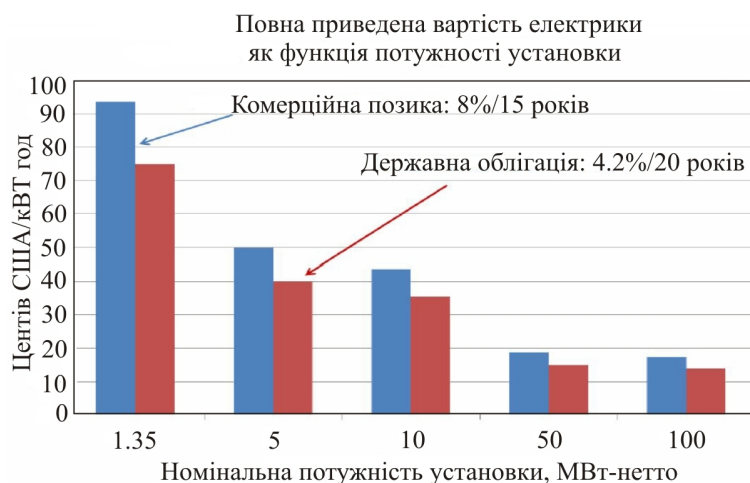


Рис. 4. Залежність вартості електроенергії, \$/кВт-год, від потужності ОТЕС [1].

В цьому сенсі термоелектричний метод перетворення теплової енергії має певні переваги, при тому, що в робочому діапазоні температур ОТЕС коефіцієнт корисної дії ТЕГ практично не відрізняється від ККД паросилового циклу (обидва мають ККД на рівні 1%). Передусім ТЕГ майже нечутливі до масштабного фактору, тобто економічні показники океанського термоелектричного генератора (ОТЕГ) масштабу 1 кВт практично не відрізняються від ОТЕГ мегаватного масштабу, що дозволяє вивести ОТЕГ на комерційний рівень в кіловатному діапазоні потужностей. Додатковою перевагою ОТЕГ є більш проста конструкція, відсутність низькокиплячих теплоносіїв (як правило, токсичних), й, відповідно, значно вища надійність й автономність. Подібно до ОТЕС з паротурбінним генератором схема ОТЕГ включає трубопроводи холодної та гарячої води, теплообмінники, насоси, а також термоелектричний перетворювач та інвертор. Запропонована в [7] конструкція ТЕГ теплообмінного типу дозволяє поєднати в одному агрегаті теплообмінники гарячого й холодного теплоносія, що суттєво зменшує матеріалоємність та габарити ОТЕГ. Для порівняння, ОТЕГ потужністю 50 кВт матиме приблизно такі ж габарити, як блок конденсатора ОТЕС-50 (наведений у правому нижньому кутку на рис. 2). Оцінки вартості електроенергії ОТЕГ

потужністю 100 кВт [8] підтверджують можливість досягнення цілком конкурентноздатного рівня собівартості електроенергії (0,10 \$США/кВт-годину), порівняного з собівартістю енергії від традиційних джерел енергії, й недосяжного для традиційної схеми ОТЕС. Це відкриває можливості створення ОТЕГ потужністю 1...1000 кВт для комерційного впровадження з метою надійного забезпечення електроенергією чисельних автономних споживачів.

ОТЕГ + “Сонячний ставок” = ОСТЕГ

Ще одна схема використання потенціалу морської води за допомогою термоелектрики – це поєднання схеми ОТЕГ зі схемою “сонячного ставка”. Сонячний ставок - це водойма глибиною 2 - 3 м, заповнена сольовим розчином (рис. 5). Завдяки тому, що розчинність солей у воді підвищується з підвищенням температури, можливі такі ситуації, коли відбувається стратифікація розчину - в придонному шарі концентрація (і щільність) розчину підвищується, а в поверхневому шарі – знижується [9]. Завдяки цьому у водоймі виникають три яскраво виражені зони - верхня конвективна зона товщиною 0.1 ... 0.3 м, що складається з прісної води, градієнтний шар, в якому концентрація солі зростає із збільшенням глибини, і придонна конвективна зона з максимальною концентрацією.

Градієнтний шар, завдяки придушенню природної конвекції, має високий термічний опір (приблизно на три порядки вище термічного опору прісної води).

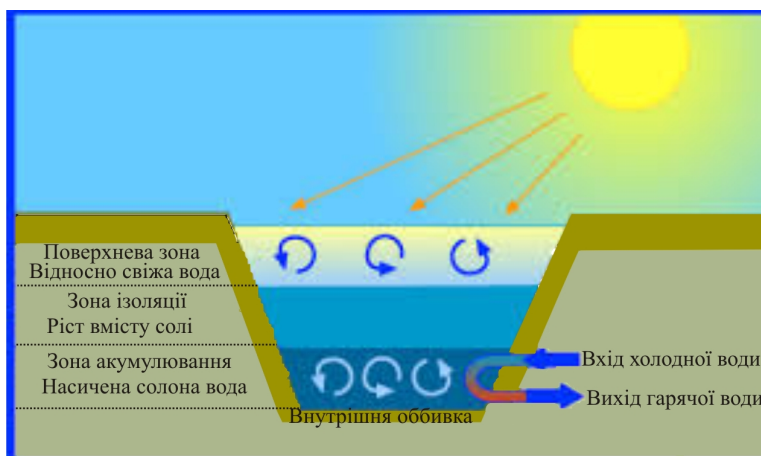


Рис. 5. Схема «сонячного ставка» [10].

У результаті цього придонний шар ізолювано від поверхні і він здатний акумулювати енергію сонячного випромінювання. Температура в придонному шарі може досягати більше 100°C.

Поєднання такого джерела теплової енергії з потужним стоком теплоти, яким є глибоководна морська вода, надає можливості створення досить ефективних електростанцій. Завдяки більшому перепаду температур термоелектричний генератор в такій схемі має значно кращі показники ніж ОТЕГ. Основні капітальні витрати припадають на будівництво ставка – його вартість складає приблизно 30 \$США/м² [11], що з врахуванням необхідного обсягу теплоакумулятора дає 8...10 тис. \$США на 1 кВт номінальної потужності океанського сонячного термоелектричного генератора (ОСТЕГ). В порівнянні з ОТЕГ вартість схеми, що розглядається, є приблизно на 30% нижчою. Відповідно, собівартість електроенергії при роботі в базовому (цілодобовому) режимі складає 0.1 \$США/кВт-год, а в разі використання ОСТЕГ в піковому режимі – 0.04 \$США/кВт-год [12]. Прийнятний інтервал потужностей для ОСТЕГ складає 10 – 100 кВт. Найбільш перспективні сфери застосування – у складі комплексів з використанням глибинної морської води, подібних центру «Kumejima» на островах Окінава.

ОТЕГ для автономних систем

Сучасний океан наповнений тисячами морських буїв різноманітного призначення – навігаційними, дослідницькими, військовими і т. ін., які працюють під водою, в автономному режимі. Апаратура цих пристроїв потребує живлення, яке здійснюється зазвичай за допомогою хімічних джерел, час дії яких обмежений.

Свого часу для подібних застосувань нами було запропоновано термоелектричне джерело живлення, яке має практично необмежений ресурс [13]. Особливістю цього пристрою є те, що він має можливість самостійно мігрувати між горизонтами з теплою та холодною водою, заповнюючи відповідні ємності, які слугують теплоаккумуляторами. Тепло передається від теплового акумулятора до холодного скрізь термобатарею, яка генерує електричний струм. Міграція здійснюється за рахунок зміни плавучості апарату, що відбувається завдяки використанню температурної залежності розчинності газів, які присутні в морській воді. Пізніше принцип міграції підводного апарату між шарами води з різною температурою для зарядки теплоаккумуляторів було запропоновано в роботах Мартін Марієтта Корп., в тому числі й з використанням термоелектричного генератора [14, 15]. Але ці пропозиції розраховані на більш потужні застосування, оскільки покладаються на досить енергоємні механізми забезпечення міграції пристроїв.

Висновки

Використання термоелектричних генераторів в застосуваннях, пов'язаних з океанською тематикою, має великі перспективи, але їх практична реалізація в значній мірі залежить від залучення інвестицій в наукові дослідження.

Література

1. Luis A. Vega, Ph.D. Economics of Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC): An Update //2010 Offshore Technology Conference, Houston, Texas, USA, 3–6 May 2010. – С. 1-16
2. Nihous G.C. and Syed M.A. A financing strategy for small OTEC Plants // Energy Convers. Mgmt. 1997 – Vol. 38, No. 3. P. 201-211
3. <http://otecokinawa.com/en/OTEC/WaterUse.html>
4. <http://www.okinawab2b.jp/misc6.html>
5. <http://morethingsjapanese.com/okinawa-otec-power-initialization-ceremony/>
6. <http://www.lockheedmartin.com/us/products/otec.html>
7. Лобунець Ю.М. Термоелектричний генератор // Патент України №83157, 27.08.2013.
8. Лобунець Ю.М. Оцінка характеристик ОТЕС з термоелектричним перетворювачем енергії / Ю.М. Лобунець // Термоелектрика. – 2013. – № 1. – С. 62 – 67.
9. Akbarzadeh A., Andrews J. Solar Ponds // <http://www.eolss.net/Sample-Chapters/C08/E6-106-08.pdf>
10. http://www.energyeducation.tx.gov/renewables/section_3/topics/solar_ponds/index.html
11. <http://soilwater.com.au/solarponds/costs.htm#POWER>.
12. Лобунець Ю.М. Сонячний ставок з термоелектричним перетворювачем енергії / Ю.М. Лобунець // Термоелектрика. – 2013. – № 2. – С.95 – 99.
13. Патент РФ.- № 2031486 от 01.04.1991 Термоелектрический генератор // Ю.Н. Лобунець, Н.А. Гринь, Г.В. Струц.
14. Patent US 2010/039271 A1, 10.06.2010.
15. Patent US 8065972 B2, 29.11.2011.

Надійшла до редакції 12.06.2014