



Лобунец Ю.Н.

Лобунец Ю.Н.

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСТВО И ОКЕАН

Рассмотрены перспективы применения термоэлектрических генераторов для преобразования тепловой энергии океана. Показано, что термоэлектрический метод преобразования энергии способен обеспечить конкурентоспособные технико-экономические показатели по сравнению с традиционными схемами океанической тепловой электростанции (ОТЭС).

Ключевые слова: термоэлектрический генератор, тепловая энергия океана.

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.

Введение

Мировой океан покрывает более 70 % земной поверхности. По сути он является огромным естественным аккумулятором солнечной энергии, благодаря поглощению которой, между поверхностными и глубинными пластами воды, возникает градиент температур. В тропических широтах это различие достигает 20 °С (рис. 1). По существующим оценкам от поверхности океана, ограниченной квадратом в один градус широты и долготы, можно получить 100 млрд. кВт-часов тепловой энергии в год. То есть – это практически безграничный источник тепловой энергии, которая может быть преобразована в электрическую. Однако этот ресурс тяжело освоить, поскольку существующие технологии использования тепловой энергии океана еще не достигли коммерческого уровня.

Начиная с 70-х годов прошлого столетия ведутся исследования по использованию тепловой энергии океана, преимущественно в двух направлениях – для обеспечения энергией островных потребителей и для питания автономных систем (навигационных и океанологических буев, и т.д.).

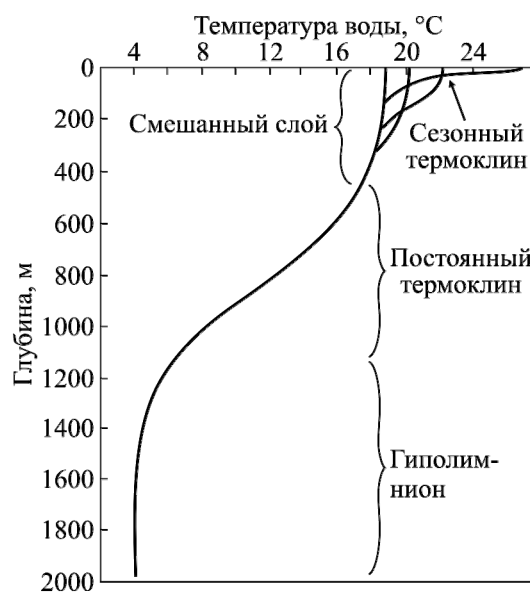


Рис. 1. Распределение температур в толще океана.

Ряд реализованных пилотных проектов [1, 2] подтверждает принципиальную возможность достижения приемлемых технико-экономических показателей ОТЭС, но эта технология пока еще не находит промышленного использования. Исследованиям этой проблемы отводится большое внимание в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. В Японии насчитывается 15 исследовательских центров, которые оборудованы системами подачи глубинной морской воды с объемом от 500 до 13000 тонн в сутки [3]. Самый большой из них, проект «Kumejima», предусматривает создание модели постоянного развития для малых островов префектуры Окинава (Япония), базирующейся на использовании глубинной морской воды для экологически чистых энергетических, сельскохозяйственных и аквакультурных технологий [4]. Основой проекта является система подачи холодной морской воды, обеспечивающая снабжение 13 тыс. тонн/сутки воды с температурой 6...9 °С. Этот ресурс используется для систем кондиционирования помещений, охлаждения продукции и в аквакультуре. В июне 2013 года на острове был введен в действие демонстрационный проект ОТЭС мощностью 50 кВт (рис. 2) [5].

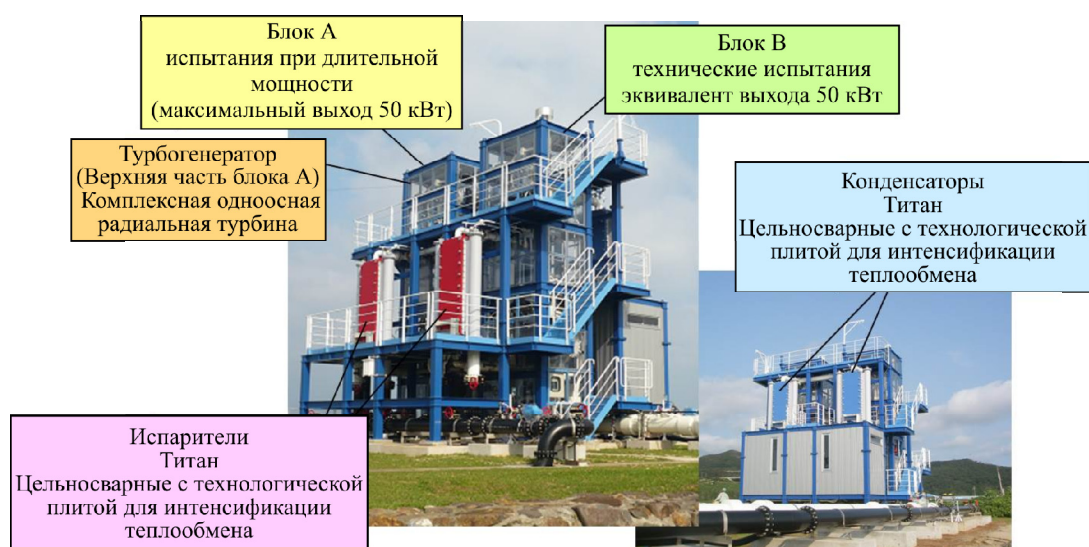


Рис. 2. Демонстрационный ОТЭС мощностью 50 кВт на острове Кумежима [5].

Проект разработан Институтом океанической энергии университета Сага и компанией Xenosys в содружестве с Лабораторией естественной энергии на Гавайях (Natural Energy Laboratory of Hawaii, NELHA). В США ведущей компанией в области исследований по проблемам энергии океана является Lockheed Martin Corp., разрабатывающая проект ОТЭС мощностью 10 МВт [6]. Еще одним большим центром исследований по проблемам ОТЭС является Тайвань.

Перспективы применения ТЭГ для преобразования тепловой энергии океана

Современные проекты ОТЭС ориентируются на применение паросилового цикла с низкокиспящим теплоносителем. Недостатком этой технологии является большая металлоемкость и существенная зависимость экономических показателей от масштабного фактора – минимальный уровень мощности, обеспечивающий приемлемые экономические показатели, составляет 50 МВт (рис. 3). Согласно данным [1], стоимость электроэнергии ОТЭС мощностью 1 МВт составляет 0.7 – 0.9 дол. США/кВт·час, а для ОТЭС мощностью 100 МВт – 0.12 дол. США/кВт·час (рис. 4). Последний показатель уже может рассматриваться как конкурентоспособный по сравнению со стоимостью электроэнергии от традиционных источников, но

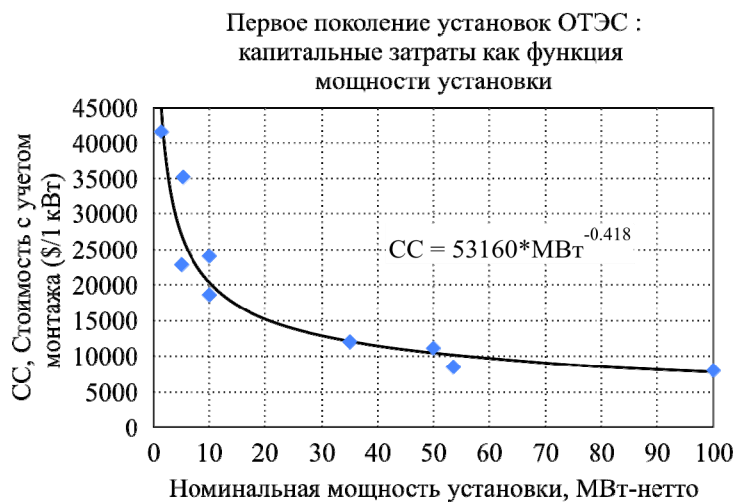


Рис. 3. Зависимость удельных капиталовложений дол. США/кВт от мощности для ОТЭС [1].

годаря использованию систем малой мощности (1 – 100 кВт), и применению для них специальных тарифов (feed-in tariff, FIT), обеспечивающих прибыльность эксплуатации подобных систем. К сожалению, для классической схемы ОТЭС с паросиловым циклом такой путь является невозможным из-за масштабных ограничений.

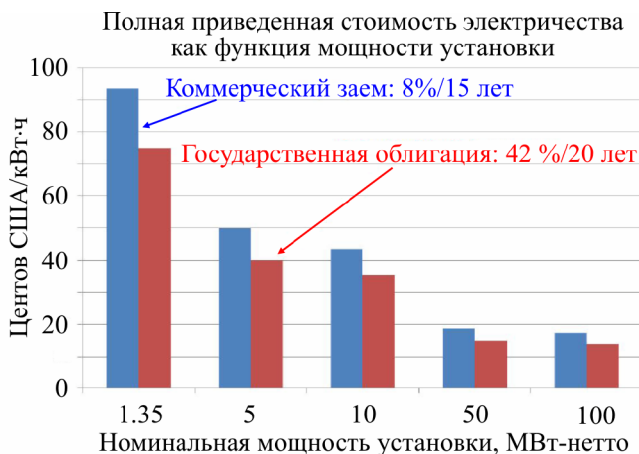


Рис. 4. Зависимость стоимости электроэнергии, дол. США/кВт-час, от мощности ОТЭС [1].

практически не отличаются от ОТЭГ мегаваттного масштаба, который позволяет вывести ОТЭГ на коммерческий уровень в киловаттном диапазоне мощностей. Дополнительным преимуществом ОТЭГ является более простая конструкция, отсутствие низкокипящих теплоносителей (как правило, токсичных), и, соответственно, значительно большая надежность и автономность. Подобно ОТЭС с паротурбинным генератором схема ОТЭГ включает трубопроводы холодной и горячей воды, теплообменники, насосы, а также термоэлектрический преобразователь и инвертор. Предложенная в [7] конструкция ТЭГ теплообменного типа позволяет соединить в одном агрегате теплообменники горячего и холодного теплоносителей, что существенно уменьшает материалоемкость и габариты ОТЭГ. Для сравнения, ОТЭГ мощностью 50 кВт будет иметь приблизительно такие же габариты, как блок конденсатора ОТЕС-50 (приведенный в правом нижнем углу на рис. 2). Оценки стоимости электроэнергии ОТЭГ мощностью 100 кВт

реализация подобных проектов является проблематичной из-за необходимости значительных инвестиций (на уровне 1 млрд. дол. США) в условиях недостаточно определенных рисков. В то же время опыт внедрения современных систем преобразования возобновляемых источников энергии (фотоэлектрические преобразователи, ветрогенераторы) показывает, что их распространение, несмотря на высокую себестоимость электроэнергии, стало возможным бла-

В этом смысле термоэлектрический метод преобразования тепловой энергии имеет определенные преимущества, при том, что в рабочем диапазоне температур ОТЭС коэффициент полезного действия ТЭГ практически не отличается от КПД паросилового цикла (оба имеют КПД на уровне 1%). Прежде всего ТЭГ почти нечувствительны к масштабному фактору, то есть экономические показатели океанского термоэлектрического генератора (ОТЭГ) масштаба 1 кВт

[8], подтверждают возможность достижения вполне конкурентоспособного уровня себестоимости электроэнергии (0.10 дол. США/кВт·час), сопоставимого с себестоимостью энергии от традиционных источников энергии, и недостижимого для традиционной схемы ОТЕС. Это открывает возможности создания ОТЭГ мощностью 1...1000 кВт для коммерческого внедрения с целью надежного обеспечения электроэнергией многочисленных автономных потребителей.

ОТЭГ + “Солнечный пруд” = ОСТЭГ

Еще одна схема использования потенциала морской воды с помощью термоэлектричества – это сочетание схемы ОТЭГ со схемой “солнечного пруда”. Солнечный пруд – это водоем глубиной 2 – 3 м, заполненный солевым раствором (рис. 5). Благодаря тому, что растворимость солей в воде возрастает с повышением температуры, возможна стратификация раствора, при которой в придонном слое концентрация (и плотность) раствора повышается, а в поверхностном – снижается [9]. Благодаря этому в водоеме возникают три ярко выраженные зоны – верхняя конвективная зона толщиной 0.1...0.3 м, состоящая из пресной воды, градиентный

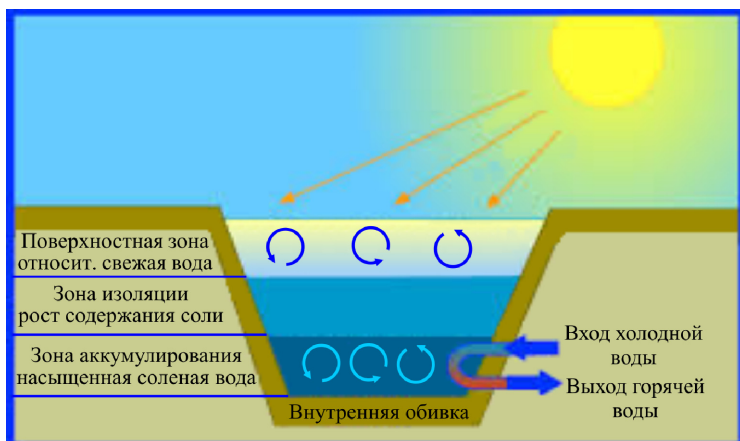


Рис. 5. Схема «солнечного пруда» [10].

слой, в котором концентрация соли возрастает с увеличением глубины, и придонная конвективная зона с максимальной концентрацией.

Градиентный слой, благодаря подавлению естественной конвекции, имеет высокое термическое сопротивление (приблизительно на три порядка выше термического сопротивления пресной воды).

В результате этого придонный слой изолирован от по-

верхности и способен аккумулировать энергию солнечного излучения. Температура в придонном слое может достигать более 100 °С.

Сочетание такого источника тепловой энергии с мощным стоком теплоты, каковым является глубоководная морская вода, открывает возможности создания достаточно эффективных электростанций. Благодаря большому перепаду температур термоэлектрический генератор в такой схеме имеет значительно лучшие показатели, чем ОТЭГ. Основные капитальные затраты приходятся на строительство пруда – его стоимость составляет приблизительно 30 дол. США/м² [11], что с учетом необходимого объема теплоаккумулятора дает 8...10 тыс. дол. США на 1 кВт номинальной мощности ОСТЭГ. По сравнению с ОТЭГ стоимость рассматриваемой схемы приблизительно на 30 % ниже. Соответственно, себестоимость электроэнергии при работе в базовом (круглосуточном) режиме составляет 0.1 дол. США/кВт·час, а в случае использования ОСТЭГ в пиковом режиме – 0.04 дол. США/кВт·час [12]. Приемлемый интервал мощностей для ОСТЭГ составляет 10 – 100 кВт. Наиболее перспективные сферы применения – в составе комплексов по использованию глубинной морской воды, подобных центру «Kumejima».

ОТЭГ для автономных систем

Современный океан наполнен тысячами морских буев разнообразного назначения – навигационными, исследовательскими, военными и т.д., которые работают под водой в автономном режиме. Аппаратура этих устройств нуждается в питании, осуществляемом обычно с помощью химических источников, время действия которых ограничено.

В свое время для подобных применений нами был предложен термоэлектрический источник питания, имеющий практически неограниченный ресурс [13]. Особенностью этого устройства является то, что оно может самостоятельно мигрировать между горизонтами с теплой и холодной водой, заполняя соответствующие емкости, которые служат теплоаккумуляторами. Тепловая энергия передается от теплого аккумулятора к холодному сквозь термобатарею, генерирующую электрический ток. Миграция осуществляется за счет изменения плавучести аппарата, что происходит благодаря использованию температурной зависимости растворимости газов, присутствующих в морской воде. Позднее принцип миграции подводного аппарата между слоями воды с различной температурой для зарядки теплоаккумуляторов в том числе и с использованием термоэлектрического генератора был предложен в роботах [14, 15]. Но эти предложения рассчитаны на более мощные применения, поскольку базируются на довольно энергоемких механизмах обеспечения миграции устройств.

Выводы

Использование термоэлектрических генераторов в применениях, связанных с океанской тематикой, имеет большие перспективы, но их практическая реализация в значительной мере зависит от привлечения инвестиций в научные исследования.

Литература

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
2. G.C. Nihous and M. A. Syed, A financing strategy for small OTEC Plants, *Energy Convers. Mgmt.* 38 (3), 201 – 211 (1997).
3. <http://otecokinawa.com/en/OTEC/WaterUse.html>
4. <http://www.okinawab2b.jp/misc6.html>
5. <http://morethttpsjapanese.com/okinawa-otec-power-initialization-ceremony/>
6. <http://www.lockhttpmartin.com/us/products/otec.html>
7. Патент Украины №83157. Термоэлектрический генератор / Лобунец Ю.Н. от 27.08.2013.
8. Лобунец Ю.Н. Оценка характеристик ОТЭС с термоэлектрическим преобразователем энергии / Ю.Н. Лобунец // Термоэлектричество. – 2013. – № 1. – С. 62 – 67.
9. A. Akbarzadeh, J. Andrews., 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.httpPOWER>
12. Лобунец Ю.Н. Солнечный пруд с термоэлектрическим преобразователем энергии / Ю.Н. Лобунец // Термоэлектричество. – 2013. – № 2. – С. 95 – 98.
13. Патент РФ № 2031486. Термоэлектрический генератор / Лобунец Ю.Н., Гринь Н.А., Струц Г.В. от 01.04.1991.
14. Patent US 2010/039271 A1, 10.06.2010.
15. Patent US 8065972 B2, 29.11.2011.

Поступила в редакцию 12.06.14.