

Использование волновой энергии для автономного электроснабжения объектов Дальнего Востока*

Руденко Н.В., Васильев А.Э.

Донской государственный технический университет
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
rnv.2017@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены технические предложения по автономному энергоснабжению объектов Дальнего Востока на основе использования возобновляемых источников энергии. На основе анализа энергетического потенциала Дальневосточного Федерального округа сделан вывод о том, что указанный округ обладает высоким потенциалом возобновляемой энергетики (солнечной, ветровой и волновой) и о целесообразности применения гибридных электрических станций на основе ветровых, солнечных и волновых электрических станций. Анализ климатических условий позволил сделать вывод, что Охотское и Японское моря наиболее перспективны для использования волновых электростанций. Средняя мощность волнения в прибрежных зонах этих морей составляет до 40 кВт/м. В Японском море имеются протяжённые незамерзающие с апреля по ноябрь участки побережья. Побережье Курильских островов не замерзает в нормальные и мягкие зимы. Предложены конкретные участки побережий для размещения этих электростанций. Рассмотрены основные требования к волновым электростанциям: экологичность; простота и прочность конструкции; высокая надежность; мобильность, т.е. возможность оперативного перемещения станции при быстром образовании льда в ту часть акватории, где он отсутствует. Предложена конструкция мобильной волновой электрической станции инерционного типа, удовлетворяющая указанным требованиям.

Ключевые слова: автономное энергоснабжение, энергетический потенциал, гибридные электрические станции, волновая, ветровая, солнечная энергия, волновая электрическая станция.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие Дальнего Востока России является актуальной задачей [1, 2]. Эта задача может быть решена путём увеличения производства энергии, необходимой для жизнеобеспечения людей, функционирования промышленных предприятий и связи.

Однако, свыше 65 % территории России - зона децентрализованного электроснабжения. В этой зоне проживает более 15 млн. человек. В Северных районах нашей страны работает свыше 6000 дизельных электростанций (ДЭС), которые имеют мощность порядка 3 млн. кВт. Около половины этих ДЭС работает ненадежно, что связано с перебоями в поставках топлива и высокими ценами на привозное топливо [3]. Энергетика Камчатской и Сахалинской областей базируется на привозном топливе, 90% которой производится на мазуте. Имеют место большие

транспортные расходы, отчего стоимость выработки электроэнергии очень высока и превышает среднемировой показатель в 5–6 раз. Высок расход топлива, большинство электростанций устарели [4]. Кроме того, получение энергии в ДЭС загрязняет окружающую среду.

Одним из путей оптимизации расходов и улучшения экологической обстановки является использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

В 2014–2015 годах были реализованы проекты, позволяющие заместить 40% энергии, вырабатываемой ДЭС, на энергию ВИЭ, использующие солнце и ветер [5]. Однако, поставленные цели не реализованы в полной мере. Не построены децентрализованные энергетические системы и сети достаточной мощности для надежного электроснабжения различных автономных объектов. Не ликвидирована зависимость от привоза топлива, тарифы на электроэнергию остаются очень высокими. Не решены экологические проблемы, связанные с ДЭС. Не использован потенциал волновой энергии.

Следовательно, для решения задач развития Дальнего Востока необходимо более широкое использование перспективных ВИЭ с учетом энергетического потенциала.

Цель исследования – разработка практических рекомендаций по использованию ВИЭ с учетом энергетического потенциала Дальнего Востока. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- анализ энергетического потенциала Дальневосточного Федерального округа (ДФО);
- разработка перспективной конструкции волновой электростанции (ВолЭС).

АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Потенциал ветровой и солнечной энергии ДФО представлен в табл. 1 [6].

30% всего ветроэнергетического потенциала России принадлежит ДФО. Согласно табл. 1, наивысший потенциал энергии ветра имеют Камчатский край, Приморский край, Магаданская и Корякская области. Это подтверждает целесообразность использования ветроэлектрических установок (ВЭУ) [6, 7].

Эффективное преобразование ветровой энергии в электрическую возможно с использованием вихревых ВЭУ с вертикальной осью, которые имеют следующие преимущества по сравнению с известными ВЭУ с горизонтальной осью [8–12]:

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Всероссийской научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг", <https://icie-rus.org>

- низкий шум и вибрации (менее 35 дБ), что позволяет размещать их на крышах зданий, что даёт возможность использовать не только энергию горизонтальных ветровых потоков, но и энергию восходящих вертикальных потоков воздуха;
- отсутствие необходимости возведения высотных сооружений в виде мачт для ВЭУ высотой не менее 30-40 метров для обеспечения требуемой скорости ветра;
- оперативность и удобство монтажа, технического обслуживания и ремонта, поскольку установка размещается на крыше здания, а не на высотной мачте;
- возможность использования малых ветровых и низкопотенциальных тепловых восходящих потоков;
- упрощение технологии эксплуатации за счёт продления ресурса подшипниковых узлов.

Таблица 1

Потенциал ветровой и солнечной энергии ДФО

Наименование субъектов	Площадь и параметры потенциалов ветровой и солнечной энергии		
	Площадь, тыс. кв. км.	Удельный валовый потенциал энергии ветра кВт ч/(м ² ·год)	Удельный валовый приход солнечной энергии кВт ч/(м ² ·год)
Респ. Саха (Якутия)	3103,2	90,0	1027,8
Приморский край	165,9	420,0	1388,9
Хабаровский край	788,6	180,0	1194,4
Амурская обл.	363,7	22,0	1250,0
Камчатская обл.	170,8	660,0	1111,1
Магаданская обл.	461,4	310,0	1051,1
Сахалинская обл.	87,1	130,0	1166,7
Еврейская авт. обл.	36,0	90,0	1333,3
Корякский авт. округ	301,5	370,0	1111,1
Чукотский авт. округ	737,7	145,0	888,9
Республика Бурятия	351,3	90,0	1222,2
Читинская обл.	412,5	90,0	1305,6

Анализ мирового опыта использования солнечных электростанций (СЭС) показывает, что в Японии совокупная мощность СЭС составляет 71,4 ГВт, а в Германии- 53,9 ГВт. Япония находится на третьем месте в мире по этому показателю при удельном валовом годовом приходе солнечной энергии 1000-1500 кВт ч/(м²·год). Германия находится на четвертом месте в мире по этому показателю при удельном валовом годовом приходе солнечной энергии 1000-1250 кВт ч/(м²·год). Эти страны успешно используют солнечную энергию [13, 14].

В ДФО указанный показатель кроме Чукотского автономного округа лежит в этом интервале: 1000-1390 (см. табл. 1) [6]. Следовательно, использование СЭС для автономных объектов ДФО целесообразно.

Для оценки возможности использования волновой энергии необходимо учесть климатические условия и условия ледообразования акватории морей Дальнего Востока. Анализ климатических условий позволяет сделать вывод, что Охотское и Японское моря наиболее перспективны для использования волновых электростанций:

средняя мощность волнения этих морей в прибрежных зонах составляет до 40 кВт/м и имеются протяжённые незамерзающие участки побережья, вдоль которых могут быть размещены эти электростанции [4, 15, 16].

Так, на Курильских островах от 45,58 с.ш. до 50,87 с.ш. отсутствует ледообразование в нормальные и мягкие зимы (см. рис. 1) [16, 17]. Общая длина побережий, учитывая и побережье Тихого океана, на островах в указанном широтном диапазоне составляет 1100 км [17], а мощность волнения от 20 до 60 кВт/м [15].

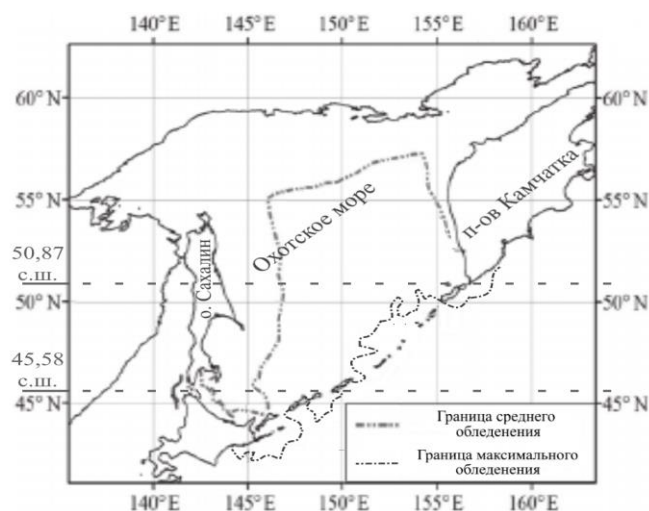


Рис. 1. Максимальное и среднее положение кромки льда в Охотском море (климатическая норма) 2001-2015 г [16]

Развитие ледяного покрова в Японском море начинается с середины ноября, а таяние льда начинается с марта [18]. Поэтому с середины апреля до середины ноября возможно использование мобильных ВолЭС.

Лед отсутствует вдоль побережья Приморского края и части Хабаровского края: от 42,56 с. ш. до 48,08 с. ш. (см. рис. 2) с апреля по ноябрь. Средняя мощность волнения стабильна и составляет 5-10 кВт/м [15, 18]. Длина этого побережья: 1250 км [17].

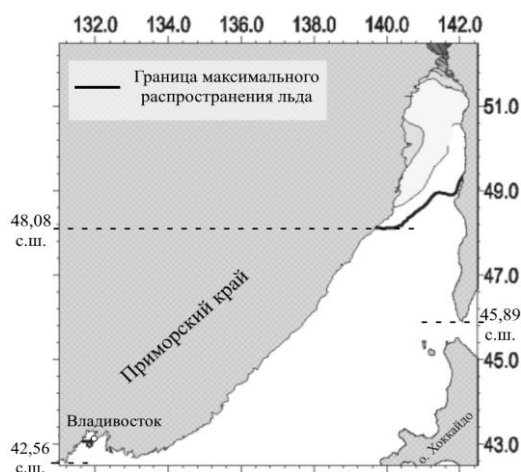


Рис. 2. Граница максимального распространения льда за многолетний период в апреле в Японском море [18]

Вдоль юго-западного побережья острова Сахалин от 45,89 с. ш. до 49 с. ш. где с апреля по ноябрь лед отсутствует (см. рис. 2). Средняя мощность волнения: 10-15 кВт/м [15, 18]. Длина этого побережья составляет 344 км [17].

Анализ климатических условий побережья ДФО позволяет сформулировать основные требования к ВолЭС: экологичность; простота и прочность конструкции; высокая надежность; мобильность, т.е. возможность оперативного перемещения станции при быстром образовании льда в ту часть акватории, где он отсутствует. Эти требования использованы для выбора конструкции ВолЭС для побережья ДФО.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ВОЛНОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Известно множество устройств, способных преобразовывать волновую энергию в электрическую. Из них можно выделить конструкции поплавковых буёв-генераторов. Их несомненным преимуществом является простота конструкции и способность получать энергию вне зависимости от направления распространения волны, например, конструкция, разработанная университетом штата Орегон [19]. Напряжение индуцируется, когда волна сообщает поступательное движение корпусу с закреплённой внутри катушкой индуктивности относительно постоянного магнита, закреплённого на стержне. Стержень прикреплен к морскому дну. Преимуществом данной системы является также возможность получения требуемой мощности за счёт увеличения количества буёв.

Однако имеется существенный недостаток: невозможность оперативного перемещения энергетической системы в акваторию, где отсутствует лед, из-за того, что индуктор генератора связан с морским дном.

Проведенный патентный поиск позволил найти поплавковую волновую электростанцию, которая удовлетворяет всем указанным требованиям [20].

На основе указанного прототипа авторами была предложена конструкция волновой электростанции с расширенными возможностями (см. рис. 3, 4):

- увеличение генерируемой мощности и динамической устойчивости на поверхности воды;
- обеспечение требуемого качества вырабатываемой электроэнергии.

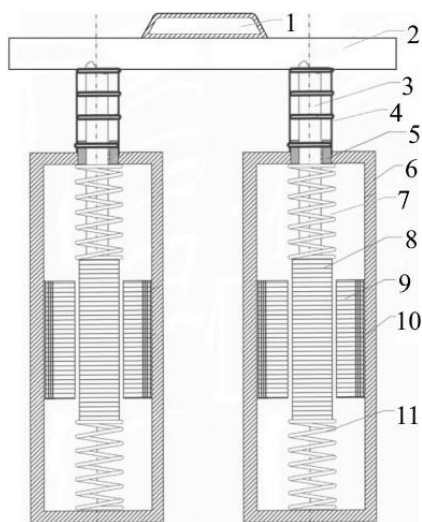


Рис. 3. Конструкция волновой электростанции в разрезе

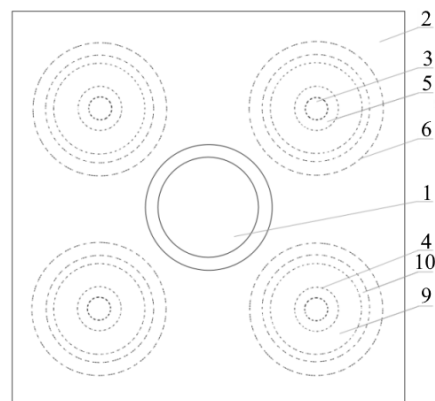


Рис. 4. Конструкция волновой электростанции, вид сверху

Принцип работы и обозначения. Шток 3 и электронный блок 1 закреплены на поплавке 2; 4 – защитная муфта; 5 – направляющая для штока. Внутри корпуса 6 расположены статор 9 с обмоткой и сердечником 10 и индуктор 8. Индуктор закреплён на штоке. Пружины 7 и 11, обеспечивают гармонические возвратно-поступательные движения индуктора относительно статора, тем самым происходит индуцирование ЭДС в обмотке статора. Таким образом, механическая энергия колебания волн преобразуется в электрическую энергию.

ВЫВОДЫ

1. Дальневосточный федеральный округ обладает высоким потенциалом возобновляемой энергетики (солнечной, ветровой, волновой). Целесообразно применение гибридных электрических станций на основе ветровых, солнечных и волновых энергетических станций.

2. Для размещения волновых электростанций наиболее перспективны следующие побережья Дальнего Востока, именно:

- побережье Курильских островов от 45,58 с.ш. до 50,87 с.ш., где отсутствует лед в нормальные и мягкие зимы, а мощность волнения от 20 до 60 кВт/м;
- побережье Японского моря в районе Приморского края и части Хабаровского края: от 42,56 с. ш. до 48,08 с. ш., где с апреля по ноябрь лед отсутствует, а средняя мощность волнения стабильна и составляет 5-10 кВт/м;
- побережье юго-западной части острова Сахалин от 45,89 с. ш. до 49 с. ш., где с апреля по ноябрь лед отсутствует, а средняя мощность волнения 10-15 кВт/м.

3. Предложена конструкция мобильной волновой электростанции инерционного типа с возможностью оперативного перемещения в случае быстрого образования льда в часть акватории, где он отсутствует. Такие станции перспективны для указанных побережий Охотского и Японского морей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 26.06.2020 №427 «О мерах по социально-экономическому развитию Дальнего Востока». – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/news/63570> (дата обращения 13.01.2023).
2. Официальный сайт правительства России. – URL: <http://government.ru/news/46207/> (дата обращения 16.01.2023).

3. Змиева К.А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов // Российская Арктика. – 2020. – № 8. – С. 5-14. – URL: <https://russian-arctic.info/info/articles/elektroenergetika/problemy-energostonabzheniya-arkticheskikh-regionov/> (дата обращения 27.01.2023).
4. Чижиумов С.Д. Преобразование энергии морских волн / С.Д. Чижиумов, В.М. Козин. – Комсомольск на Амуре: ФГБОУ ВПО «КнАГТУ», 2014. – 173 с. – URL: https://www.shipdesign.ru/Chizhiumov/Waves_energy.pdf (дата обращения 28.01.2023).
5. Дальний Восток: инвестиции в энергетику. «Инвестиции. Факты и комментарии: сетевой электронный научный журнал». 2012, вып. 23 – URL: <https://textarchive.ru/c-1604587.html> (дата обращения 20.12.2022).
6. Безруких П.П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. Показатели по территориям / В.В. Дегтярев, В.В. Елистратов, Е.С. Панцхава. – М.: «ИИАЦ Энергия», 2007. – 272 с. – URL: https://www.studmed.ru/bezrukih-pp-degtyarev-vv-i-dr-spravochnik-po-resursam-vozbnovylyaemyh-istochnikov-energii-rossii-i-mestnym-vidam-topliva-pokazateli-po-territoriyam_5d174d00fe0.html (дата обращения 28.01.2023).
7. Лукутин Б.В. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении: монография / Б.В. Лукутин, О.А. Суржикова. – М.: Энергоатомиздат, 2008. – 231 с. https://portal.tpu.ru/SHARED/i/IOM/liter/Tab/M_Vozobnovl_energ_v_dets_elsnab.pdf (дата обращения 24.12.2022).
8. Rudenko N.V. Conservation in High-Rise Buildings Based on Environmentally-Friendly Renewable Energy Sources / N.V. Rudenko, V.V. Ershov. // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – vol. 224, no. 1. – URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/224/1/012020/pdf> (дата обращения: 28.01.2023).
9. Rudenko N. The use of green energy for energy conservation in high-rise buildings / N. Rudenko, V. Ershov // E3S Web of Conferences. – 2020. – vol. 164. – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016401023> (дата обращения 28.01.2023).
10. Rudenko N. Self-generated power supply of agricultural enterprises based on renewable energy sources / N. Rudenko, V. Ershov. // E3S Web of Conferences (XIII International Scientific and Practical Conference “State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020”) – 2020. – vol. 175 – URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017511009>.
11. Руденко Н.В., Ершов В.В. Устройство для преобразования кинетической энергии ветра в механическую энергию // Патент на полезную модель № 182523 РФ. № 2018104927; заявл. 09.02.2018; опубл. 22.08.2018. Бюл. № 24.
12. Руденко Н.В., Ершов В.В. Ветроэнергетическая установка // Патент на изобретение № 2689661 РФ. № 2018138330; заявл. 31.10.2018; опубл. 28.05.2019. Бюл. № 16.
13. Snapshot of Global PV Markets 2021 – URL: <https://iea-pvps.org/snapshot-reports/snapshot-2021/> (дата обращения 28.01.2023).
14. Атлас Solargis – URL: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview> (дата обращения 08.01.2023).
15. EPoSil: electroactive polymers for generating electricity from wave power – URL: <https://www.greencarcongress.com/2013/07/eposil-20130730.html> (дата обращения 28.01.2023).
16. Батухтина А.С. Современное местоположение кромок ледяного покрова в Охотском море / А.С. Батухтина, В.А. Романюк, В.М. Пищальник // Физика геосфер: Девятый Всероссийский симпозиум. Владивосток, Россия: мат. докл. 21-24 сентября 2015 г. – Владивосток: Дальнаука, 2015. – С. 20-23 – URL: https://www.poi.dvo.ru/sites/default/files/Announcement/Conference/Phys_Geos_2015_1.pdf?ysclid=lde7p2lnwt571374902 (дата обращения 28.01.2023).
17. Онлайн-сервис GeoTree. Определение точных координат. – URL: <https://geotree.ru/coordinates> (дата обращения 28.01.2023).
18. Кислова С.И. Цифровой портрет состояния и изменчивости ледяного покрова Японского моря / С.И. Кислова, В.В. Плотников, В.А. Дубина // Известия ТИНРО. – 2020. Том 200, вып. 4. – С. 978-993. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovoy-portret-sostoyaniya-i-izmenchivosti-ledyanogo-pokrova-yaponskogo-morya> (дата обращения 28.01.2023).
19. Waves of power. National Science Foundation. N. R. Fuller. – URL: <https://phys.org/news/2005-05-power.html> (дата обращения 28.01.2023).
20. Мартынов А. А. Поплавковая волновая электростанция // Патент на полезную модель № 196586 РФ. № 2019139938; заявл. 05.12.2019; опубл. 06.03.2020. Бюл. № 7.

Use of Wave Energy for Autonomous Power Supply of Objects of the Far East

Rudenko N.V., Vasiliev A.E.
Don State Technical University
Rostov-on-Don, Russian Federation
rnv.2017@mail.ru

Abstract. The article considers technical proposals for autonomous power supply of objects of the Far East based on the use of renewable energy sources. Based on the analysis of the energy potential of the Far Eastern Federal District, it was concluded that this district has a high potential for renewable energy (solar, wind and wave) and the feasibility of using hybrid power plants based on wind, solar and wave power plants. An analysis of climatic conditions allowed us to conclude that the Sea of Okhotsk and the Sea of Japan are the most promising for the use of wave power plants. The average wave energy in the coastal zones of these seas is up to 40 kW/m. In the Sea of Japan, there are long stretches of coast that do not freeze from April to November. The

coast of the Kuril Islands does not freeze during normal and mild winters. Specific sections of the coasts are proposed for the placement of these power plants. The main requirements for wave power plants are considered: environmental friendliness; simplicity and strength of construction; high reliability; mobility, i.e. the ability to quickly move the station in case of rapid ice formation to that part of the water area where it is absent. A design of a mobile wave power plant of inertial type is proposed that meets the specified requirements.

Keywords: independent power supply, energy potential, hybrid power plants, wave, wind, solar energy, wave power plant.

Библиографическое описание статьи

Руденко Н.В. Использование волновой энергии для автономного электроснабжения объектов Дальнего Востока / Н.В. Руденко, А.Э. Васильев // *Машиностроение: сетевой электронный научный журнал*. – 2023. – Т.10, №1. – С. 19-23. DOI: 10.24892/RIJIE/20230104

Reference to article

Rudenko N.V., Vasiliev A.E. Use of wave energy for autonomous power supply of objects of the Far East, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2023, vol.10, no.1, pp. 19-23. DOI: 10.24892/RIJIE/20230104