

## Технология жизнеобеспечения пляжных глэмпингов с использованием возобновляемой энергии морских волн

Виктор Владимирович Миронов<sup>1</sup>, Юрий Андреевич Иванюшин<sup>1</sup>,  
Даниил Алексеевич Суглобов<sup>1,2</sup>, Дмитрий Викторович Миронов<sup>3</sup>,  
Лев Игоревич Максимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Тюменский индустриальный университет (ТИУ); г. Тюмень, Россия;

<sup>2</sup> Югорский проектный институт; г. Тюмень, Россия;

<sup>3</sup> ЭЛЕКТРОРАМ; г. Тюмень, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В Российской Федерации прогнозируется рост внутреннего туризма по итогам 2023 г. до 30 % в сравнении с итогами 2022 г. При этом одним из трендов последних лет стал экологический туризм в зонах, как правило, с неразвитой инженерной инфраструктурой.

**Материалы и методы.** Для решения проблем жизнеобеспечения объектов временного размещения (глэмпингов) предлагается техническое решение по преобразованию гидравлической волновой энергии в прибрежной полосе морских акваторий РФ. Цель исследования — технико-экономическое обоснование применения инновационной технологии жизнеобеспечения на основе возобновляемой волновой энергии для предоставления коммунальных ресурсов, в том числе пресной воды, объектов некапитального размещения (пляжных глэмпингов). Применялись методы численных исследований с использованием статистической информации данных и сведений многолетних наблюдений, поиск отечественных и зарубежных источников с анализом и сопоставлением содержащихся данных.

**Результаты.** Представлены расчеты производительности по пресной воде с учетом неравномерности волновых характеристик (высот, периодов) в течение года на примере акваторий Черного и Японского морей. Установлено, что даже с учетом неравномерности волновых характеристик прибрежная полоса Черного моря является коммерчески значимой территорией для внедрения. Прибрежная полоса Японского моря — перспективная территория в случае сезонной эксплуатации объектов с предлагаемой технологией. Определен срок окупаемости технологии при эксплуатации на черноморском побережье.

**Выводы.** Предлагаемый насос-компрессор способен заменить энергопотребляющее оборудование обратноосмотических установок — насосы высокого давления для подачи морской воды на мембраны. Использование технологии на замерзающих морях целесообразно при некруглогодичном режиме работы. Срок окупаемости в зависимости от стоимости электроэнергии не превышает двух лет без учета сопутствующей снимаемой полезной пневматической мощности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** насос-компрессор, обратный осмос, морская вода, плавучие модули, сиффон, волновые характеристики, производительность

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Миронов В.В., Иванюшин Ю.А., Суглобов Д.А., Миронов Д.В., Максимов Л.И. Технология жизнеобеспечения пляжных глэмпингов с использованием возобновляемой энергии морских волн // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 4. С. 618–630. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.618-630

Автор, ответственный за переписку: Юрий Андреевич Иванюшин, ivanjushin@tyuiu.ru.

## Life support technology of beach glamping using renewable energy of sea waves

Viktor V. Mironov<sup>1</sup>, Yuriy A. Ivanyushin<sup>1</sup>, Daniil A. Suglobov<sup>1,2</sup>,  
Dmitriy V. Mironov<sup>3</sup>, Lev I. Maksimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Industrial University of Tyumen (IUT); Tyumen, Russian Federation;

<sup>2</sup> Yugra Design Institute; Tyumen, Russian Federation;

<sup>3</sup> ELECTRORAM; Tyumen, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** The growth of domestic tourism in the Russian Federation is forecasted to reach 30 % by the end of 2023 compared to the results of 2022. At the same time, ecological tourism in areas with undeveloped engineering infrastructure has become one of the trends of recent years.

**Materials and methods.** To solve the problems of life support of temporary accommodation facilities (glamping), a technical solution for the conversion of hydraulic wave energy in the coastal zone of Russian sea areas is proposed. The purpose

of the research is a feasibility study of the application of innovative life support technology based on renewable wave energy to provide municipal resources, including fresh water, to non-permanent accommodation facilities (beach glamping). To achieve this goal, numerical research methods were used using statistical data and long-term observational data, searching for domestic and foreign sources with analysis and comparison of the contained data.

**Results.** Calculations of fresh water productivity are presented, taking into account the unevenness of wave characteristics (heights, periods) throughout the year using the example of the Black sea and the Sea of Japan. It is established that even taking into account the uneven wave characteristics, the Black Sea coastal zone is a commercially significant territory for implementation. The coastal zone of the Sea of Japan is a promising territory in the case of seasonal operation of facilities with the proposed technology. The payback period of the technology for operation on the Black Sea coast was determined.

**Conclusions.** The proposed pump-compressor is able to replace energy-consuming equipment of reverse osmosis installations — high-pressure pumps for supplying seawater to the membranes. The use of technology on the freezing seas is expedient in the non-year-round operation mode. The payback period, depending on the cost of electricity, does not exceed two years without taking into account the associated removal of useful pneumatic power.

**KEYWORDS:** pump-compressor, reverse osmosis, sea water, floating modules, bellows, wave characteristics, productivity

**FOR CITATION:** Mironov V.V., Ivanyushin Yu.A., Suglovov D.A., Mironov D.V., Maksimov L.I. Life support technology of beach glamping using renewable energy of sea waves. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(4):618-630. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.4.618-630 (rus.).

*Corresponding author:* Yuriy A. Ivanyushin, ivanjushinja@tyuiu.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с ограничениями регулярного авиа-сообщения со многими странами, предоставляющими услуги оздоровительного отдыха и туризма, сложностями в их оплате появился повышенный спрос на соответствующие услуги на внутреннем рынке [1]. С целью развития внутреннего туризма и расширения его инфраструктуры Правительством РФ<sup>1</sup>, начиная с 2022 г., принято решение о поддержке и софинансировании строительства новых пляжных модульных гостиниц (глэмпингов) практически на всех морях, окружающих территорию России.

Многие путешественники выбирают для отдыха места, отдаленные от цивилизации, среди природы. Походы с рюкзаками и палатками идеально подходят для таких целей. Однако современные люди, особенно городское население, привыкли к комфорту и привычным удобствам (доступ к электросетям, питьевой воде, канализации) [2, 3]. Далеко не все возводимые пляжные модульные отели, в том числе глэмпинги, из-за удаленности от населенных территорий будут подключены к централизованным системам жизнеобеспечения. Использование автономных дизельных генераторов энергии для жизнеобеспечения отелей экономически нецелесообразно ввиду высокой стоимости получаемой энергии [4, 5]. В работе [6] отмечено, что российский рынок глэмпинг-туризма развивается в направлении повышения экологичности.

В статье предлагается использовать возобновляемую энергию морских волн высокой обеспеченности и повторяемости для автономного жизнеобеспечения отелей (водоснабжение, тепло и электроснабжение, получение холода).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Цель исследования — технико-экономическое обоснование применения инновационной техноло-

гии жизнеобеспечения на основе возобновляемой волновой энергии для предоставления коммунальных ресурсов, в том числе пресной воды, объектов некапитального размещения (пляжных глэмпингов).

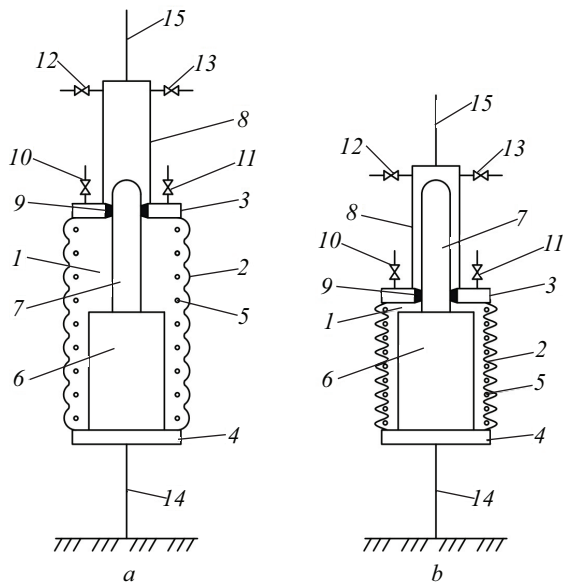
Волновая энергетика — практически неисчерпаемый источник энергии. Учитывая, что 2 % от 800 тыс. км протяженности мировой береговой линии имеет плотность мощности волн более 30 кВт/м, предполагаемый глобальный технический потенциал волнового течения составляет около 500 ГВт электроэнергии (с эффективностью преобразования 40 %). Технико-экономически эффективные места размещения объектов преобразования волновой энергии можно найти по всему миру. В то же время фактические волновые режимы значительно различаются в разных регионах мира [7].

### Техническое решение

Разработанное коллективом авторов (Тюменский индустриальный университет, ООО «ЭЛЕКТРОРАМ») техническое решение позволяет снимать энергию морских волн высотой до двух метров и преобразовывать ее в гидравлическую мощность высокого давления, необходимую для работы стандартных обратноосмотических опреснительных установок, а также преобразовывать энергию морских волн в пневматическую мощность. Из полученной пневматической мощности с использованием известных технологий можно генерировать тепло, холод или электрическую энергию для жизнеобеспечения пляжных модульных гостиниц. Техническое решение представляет собой сильфонный насос-компрессор, приводимый в работу бую с положительной плавучестью, способным подстраиваться под изменяющийся уровень морской акватории под действием приливно-отливных или нагонных ветровых явлений. Схема насоса-компрессора представлена на рис. 1.

В случае нахождения буя с положительной плавучестью на гребне волны (рис. 1, а) сильфоны растянуты за счет выталкивающей силы воды, дей-

<sup>1</sup> Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие туризма»: Постановление Правительства РФ от 24.12.2021 № 2439.



**Рис. 1.** Схема сифонного генератора (насоса-компрессора) гидравлической и пневматической энергии при различном положении буя: *a* — буй на гребне морской волны; *b* — буй во впадине волны; 1 — рабочая камера; 2 — сифонные элементы из эластичного материала; 3 — верхняя стенка рабочей камеры; 4 — днище рабочей камеры; 5 — кольца жесткости; 6 — цилиндр, являющийся поршнем воздушного компрессора; 7 — плунжер водяного насоса; 8 — корпус водяного насоса; 9 — уплотнение плунжера водяного насоса; 10 — всасывающий клапан воздушного компрессора; 11 — нагнетательный клапан воздушного компрессора; 12 — всасывающий клапан водяного насоса; 13 — нагнетательный клапан водяного насоса; 14 — трос, соединяющий днище рабочей камеры с дном акватории моря; 15 — трос, соединяющий корпус водяного насоса с плавучим буюм, снимающим энергию морских волн

**Fig. 1.** Scheme of a bellows generator (pump-compressor) of hydraulic and pneumatic energy at different positions of the buoy: *a* — buoy on the crest of a sea wave; *b* — buoy in the hollow of the wave; 1 — working chamber; 2 — bellows elements made of elastic material; 3 — upper wall of the working chamber; 4 — bottom of the working chamber; 5 — stiffening rings; 6 — cylinder, which is the piston of an air compressor; 7 — water pump plunger; 8 — body of the water pump; 9 — seal of the plunger of the water pump; 10 — air compressor suction valve; 11 — air compressor discharge valve; 12 — water pump suction valve; 13 — water pump discharge valve; 14 — cable connecting the bottom of the working chamber with the bottom of the sea; 15 — cable connecting the body of the water pump with a floating buoy that removes the energy of sea waves

ствующей на плавучий буй (такт всасывания воздуха и воды). Сжатие сифонов (рис. 1, *b*) осуществляется за счет гидростатического давления воды в месте установки рабочей камеры (такт нагнетания воды и воздуха).

Сифонный насос-компрессор содержит рабочую камеру, образованную соединенными между

собой сифонными элементами из эластичного материала. Рабочая камера закрыта с одной стороны подвижной стенкой, с другой — неподвижным днищем. Сифонные элементы из эластичного материала снабжены кольцами жесткости для предотвращения деформации сифонных элементов под действием гидростатического давления воды на глубине установки рабочей камеры. К днищу внутри рабочей камеры прикреплен цилиндр, предотвращающий образование мертвого объема в рабочей камере при сжатии и нагнетании воздуха. Также к цилиндру прикреплен плунжер водяного насоса, входящий в корпус водяного насоса. Плунжер прикреплен к подвижной стенке рабочей камеры. В верхней стенке рабочей камеры выполнено уплотнение плунжера водяного насоса. Всасывающий и нагнетательный клапаны воздушного компрессора размещены на верхней стенке рабочей камеры. Всасывающий и нагнетательный клапаны водяного насоса размещены на корпусе водяного насоса. Днище рабочей камеры закреплено с дном акватории моря тросом. Корпус водяного насоса соединен с плавучим буюм, снимающим энергию морских волн, тросом. На рис. 2 представлена схема съемника энергии морских волн, совмещенного с генераторами гидравлической и пневматической энергии.

Разработанные технические решения позволяют использовать возобновляемую энергию морских волн для одновременной генерации гидравлической и пневматической энергии, что дает возможность исключить загрязнение окружающей среды парниковыми газами. Внедрение схем тригенерации энергии [8–10] из различных возобновляемых источников является распространенным способом повышения эффективности разрабатываемых технологий. Схема преобразования полученной гидравлической и пневматической энергии в полезные коммунальные ресурсы для систем жизнеобеспечения зданий и сооружений представлена на рис. 3.

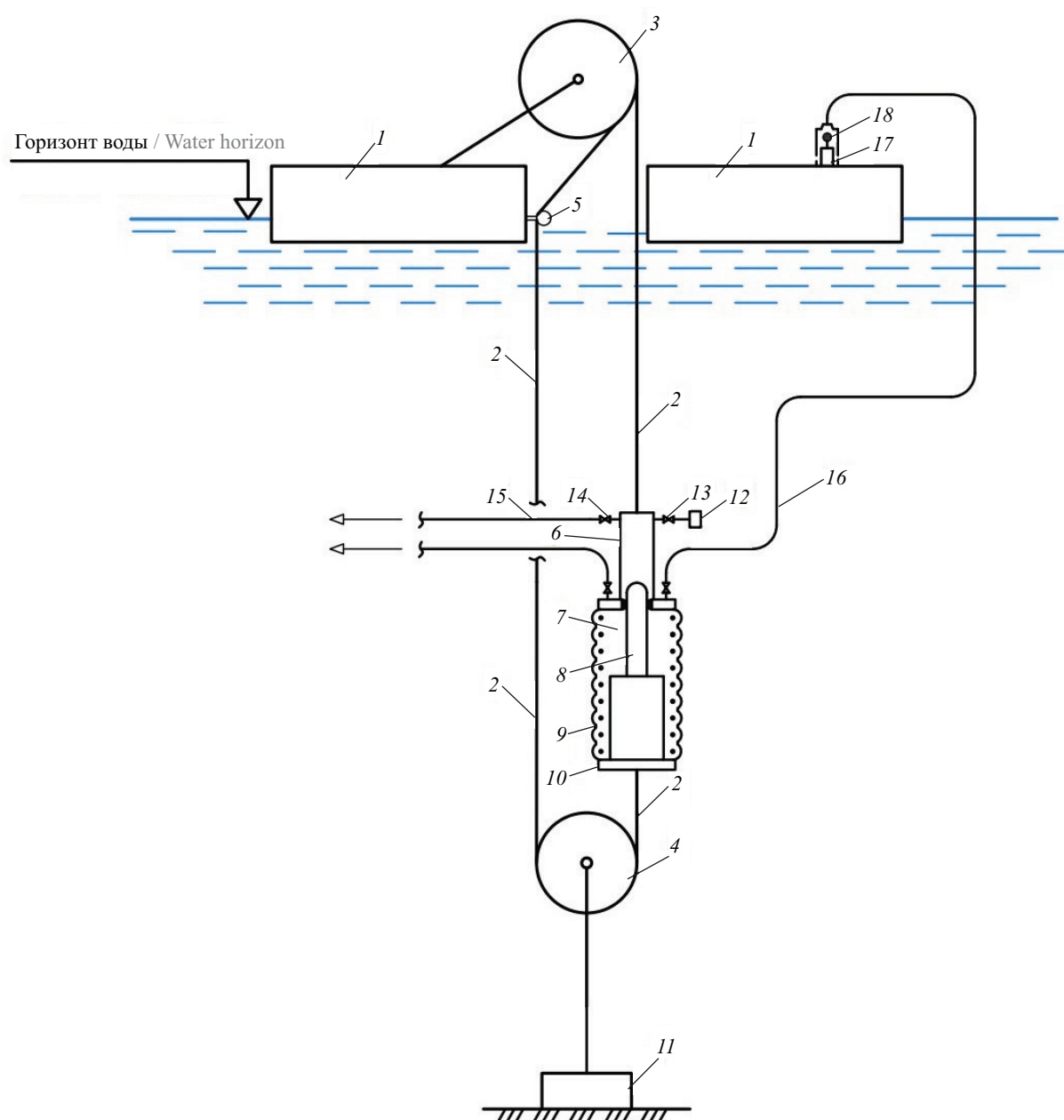
Энергетическая станция для автономного жизнеобеспечения пляжных модульных гостиниц представляет собой модульную конструкцию. Количество модулей выбирается в зависимости от потребностей в энергии и пресной воде конкретного пляжного отеля.

### Расчетные зависимости

Рассмотрим работу энергетической станции, состоящей из плавучих модулей, работающей на энергии морских волн высокой обеспеченности. Сифонный генератор (насос-компрессор) погружен на глубину  $H_p$  ниже поверхности морской акватории. Тогда избыточное давление  $p$ , Па, на глубине  $H_p$  во впадине волны составит:

$$p = \rho \cdot g \cdot (H_p - a), \quad (1)$$

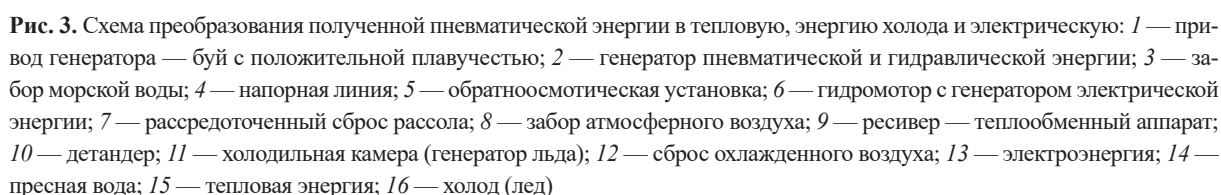
где  $\rho$  — плотность морской воды, кг/м<sup>3</sup>;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $a$  — амплитуда морской волны, м, равная половине ее высоты  $H$ .



**Рис. 2.** Полиспастная схема съёмника энергии морских волн с генераторами гидравлической и пневматической энергии: 1 — привод генератора — буй с положительной плавучестью; 2 — тросы; 3 — барабан, снабженный храповым механизмом и спиральной ленточной пружиной; 4 — блок; 5 — направляющий ролик; 6 — корпус генератора пневматической и гидравлической энергии; 7 — воздушная камера; 8 — рабочий подвижный орган генератора пневматической и гидравлической энергии; 9 — сильфонные элементы из эластичного материала; 10 — днище рабочей камеры; 11 — пригруз на дне акватории; 12 — фильтр для очистки забираемой воды; 13 — всасывающий обратный клапан насоса; 14 — нагнетательный обратный клапан насоса; 15 — линия подачи воды в обратноосмотический модуль; 16 — трубопровод, сообщающийся с воздушной атмосферой; 17 — поплавок автоматического клапана; 18 — запорный орган автоматического клапана

**Fig. 2.** Scheme of a sea wave energy puller with a hydraulic and pneumatic energy generator: 1 — generator drive — buoy with positive buoyancy; 2 — cables; 3 — drum equipped with a ratchet mechanism and a spiral band spring; 4 — block; 5 — guide roller; 6 — body of pneumatic and hydraulic power generator; 7 — air chamber; 8 — working movable body of the generator of pneumatic and hydraulic energy; 9 — bellows elements made of elastic material; 10 — bottom of the working chamber; 11 — cargo at the bottom of the water area; 12 — intake water filter; 13 — pump suction check valve; 14 — pump discharge check valve; 15 — water supply line to the reverse osmosis module; 16 — pipe that communicates with the air atmosphere; 17 — automatic valve float; 18 — shut-off element of the automatic valve





Перепад избыточного давления, обеспечивающего заданное давление в воздушной камере:

где  $p_D$  — заданное избыточное давление в воздушной камере, Па.

Сила гидростатического давления  $F$  на впадине волны на верхнюю стенку воздушной камеры генератора энергии с учетом противодействия в воздушной камере:

где  $\omega$  — площадь сечения круглой верхней стенки рабочей камеры,  $\text{м}^2$ , диаметром  $D$ , м.

Погружение буя под уровень моря, компенсирующее его вес  $h_1$ , м:

где  $G$  — вес буя, Н;  $\omega_1$  — площадь поверхности буя,  $\text{м}^2$ .

Выталкивающая сила, действующая на буй, при его погружении под уровень акватории  $F_{\gamma}$ :

где  $h_b$  — заданное рабочее погружение буя, м.

При работе полиспаста выталкивающая сила, действующая на буй, должна быть в два раза боль-

ше силы гидростатического давления на верхнюю стенку воздушной камеры генератора пневматической энергии.

Полная высота буя  $h_n$ , м:

где  $h_z$  — высота запаса, не менее 0,05 м.

Максимальная выталкивающая сила  $F_3$ , Н, на величину которой должно рассчитываться крепление к донной поверхности акватории (анкер или пригруз):

Давление  $p_1$ , развиваемое плунжером, в камере насоса с учетом давления воздуха в камере компрессора, Па:

Ход плунжера с полиспастом  $h_{\text{п}}$ , зависящий от высоты волны, м:

$$h_r = 2(H - h_b). \quad (9)$$

Производительность сильфонного генератора по воде:

- в час морской воды, м<sup>3</sup>/ч:

$$q_{hr}^{sea} = \omega_2 \cdot h_{п} \cdot \frac{3600}{T}, \quad (10)$$

где  $T$  — период морской волны, с;  
• в час пресной воды, м³/ч:

$$q_{hr}^{fr} = k \cdot q_{hr}^{sea}, \quad (11)$$

где  $k$  — доля образующейся пресной воды из морской при подаче воды на обратноосмотическую установку [11–13];  
• среднесуточная производительность по пресной воде, м³/сут:

$$Q_t^{fr} = t \cdot k \cdot q_{hr}^{sea}, \quad (12)$$

где  $t$  — продолжительность работы сильфонного генератора и обратноосмотической установки в течение суток, ч;  
• среднегодовая производительность по пресной воде, м³/год:

$$Q_{год}^{fr} = n_{г} \cdot Q_t^{fr}, \quad (13)$$

где  $n_{г} = 365$  сут — продолжительность календарного года.

Исходные данные

Основными исходными данными для расчета характеристик энергетической станции, в том числе производительности технологии по пресной воде, яв-

ляются высота морской волны  $H$ , м, и ее период  $T$ , с, в месте размещения (в прибрежной полосе морской акватории). Данные многолетних наблюдений величин  $H$  и  $T$  в акватории Черного и Японского морей представлены на рис. 4, выполненном по данным работ [14, 15]. Аналогичные сведения содержатся и по другим морским территориям РФ.

В Черном и Японском морях преобладают волны высотой до двух метров, суммарная годовая повторяемость которых составляет 84,8 и 82,6 % соответственно. Наиболее часто в акваториях встречаются волны с периодом от 2 до 6 с. При этом, если в Черном море волны с периодом 2–4 и 4–6 с встречаются в практически равных долях (46,2 и 48,2 % от общего числа волн), то в акватории Японского моря преобладают волны малого периода, до 4 с — 64,3 % от общего числа волн.

Кроме того, в акватории Черного моря присутствуют значительные сезонные изменения средних высот волн, достигающих максимальных значений в зимний период года (двукратное увеличение) [16–19], что подтверждает данные по высотам средних волн в прибрежной полосе (рис. 5).

Определенным интересом для практического применения технологии является прибрежная зона Японского моря, сезонный волновой режим которо-

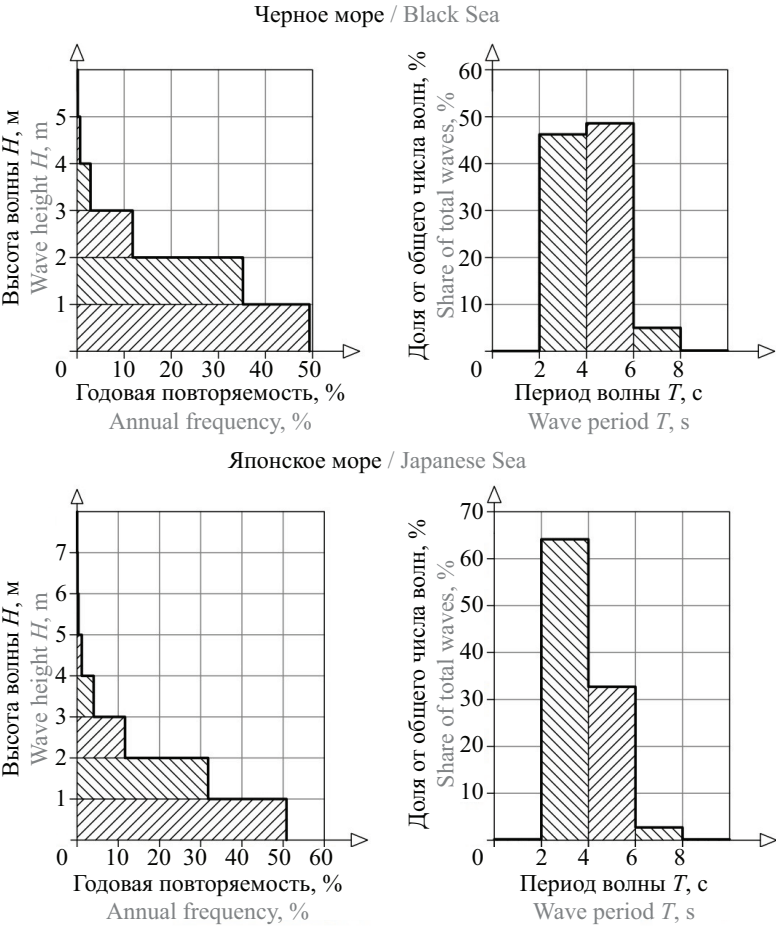


Рис. 4. Данные многолетних наблюдений высоты и периода волн в акватории Черного и Японского морей  
Fig. 4. Data of long-term observations of height and period of waves in the waters of the Black Sea and the Sea of Japan

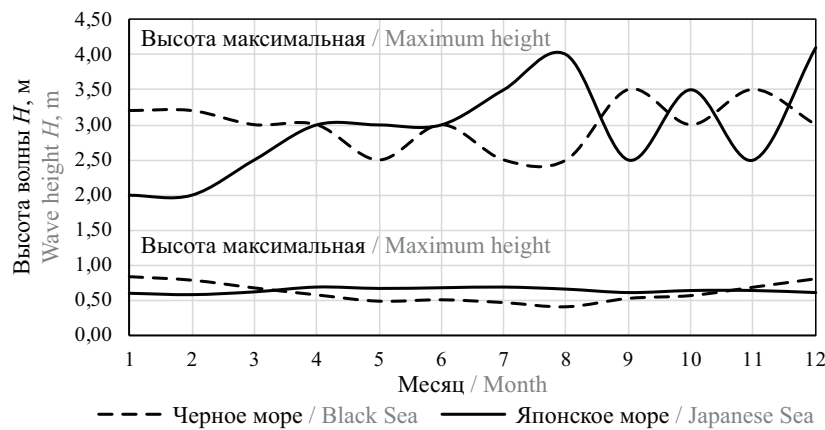


Рис. 5. Средние и максимальные высоты волн в прибрежных полосах Черного (от Анапы до Пицунды) и Японского (от Посыета до Находки) морей (среднемесячные многолетние данные<sup>2</sup>)

Fig. 5. Average and maximum wave heights in the coastal zones of the Black Sea (from Anapa to Pitsunda) and the Sea of Japan (from Posyet to Nakhodka) (average monthly long-term data<sup>2</sup>)

го равномернее (стабильнее) [20], исходя из средней высоты волны (рис. 5).

Тем не менее величина ветрового волнения непостоянна и изменяется в достаточно большом диапазоне в течение месяца и отдельных суток (рис. 6).

Следует учитывать, что зимой море частично замерзает. Ледяной покров достигает максимального развития в середине февраля. В среднем льдом покрывается 52 % площади Татарского пролива и 56 % — залива Петра Великого [21] с продолжительностью до 4–5 месяцев ежегодно. В связи с этим при определении годовой производительности технологии в формулу (14) необходимо вводить поправочный коэффициент, учитывающий прогнозируемую продолжительность наличия ледяного покрова в проектируемом районе.

С учетом вышеизложенного формула (14) для определения годовой производительности по пресной воде принимает вид:

$$Q_{\text{год}}^{\text{пр}} = t \cdot k \cdot k_1 \cdot \omega_2 \cdot \sum_{i=1}^{i=12} h_{ni} \cdot n_i \cdot \frac{3600}{T_i}, \quad (14)$$

где  $k_1$  — коэффициент, учитывающий продолжительность наличия ледяного покрова в месте размещения;  $h_{ni}$  — ход плунжера, зависящий от средней высоты волны  $H_i$  в течение  $i$ -го месяца, м;  $n_i$  — продолжительность  $i$ -го месяца, сут;  $T_i$  — средний период волны  $i$ -го месяца, с.

Учитывая процентное соотношение периодов волн (согласно данным [7, 8], рис. 4) и считая, что это соотношение в течение года не изменяется, формула (14) примет вид:

$$Q_{\text{год}}^{\text{пр}} = t \cdot k \cdot k_1 \cdot \omega_2 \cdot \sum_{i=1}^{i=12} h_{ni} \cdot n_i \cdot \frac{3600}{\sum \left( \frac{m_j}{T_j^{\text{mid}}} \right)}, \quad (15)$$

<sup>2</sup> Климат морей России // Единая государственная система информации об обстановке в мировом океане. URL: <http://portal.esimo.ru/portal/portal/esimo-user/services/climate>

где  $m_j$  — удельный вес волн, обладающих периодом  $j$ -го диапазона от их общего числа, в долях единицы;  $T_j^{\text{mid}}$  — средний период волны в выделенном  $j$ -м диапазоне.

Для расчета гипотетического примера принята прибрежная полоса акватории Японского и Черного морей. Характеристики модульной энергетической станции: диаметр верхней стенки воздушной камеры  $D = 0,3$  м, диаметр плунжера (поршня)  $d = 0,05$  м, конструкция буя квадратная, со стороной равной  $b = 3,6$  м. Вес буя  $G = 1250$  Н. Число модулей энергетической станции  $N = 30$  ед. Месячная средняя высота волн принята согласно рис. 5.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты расчета производительности энергетической станции по пресной воде представлены в табл. 1, 2.

Недостатком реализации технологии в прибрежной полосе акватории Японского моря является наличие ледяного покрова в течение трех зимних месяцев. В этом случае необходимо предусматривать буферные емкости (резервуары чистой воды) для запаса воды. Суммарный объем данных резервуаров для гипотетического примера должен быть не менее 18 тыс. м<sup>3</sup> (запас на 90 дней для 1030 потребителей, объем определен на основе графика поступления-потребления). При реализации и внедрении технологии в прибрежной полосе акватории Черного моря суммарный объем буферной емкости (резервуаров чистой воды) не будет превышать 300 м<sup>3</sup>.

Сравнение результатов определения месячных производительностей (табл. 1, 2) представлено на рис. 7.

## Экономическая составляющая

Подводящая гидравлическая мощность на насос  $N_1$ , Вт, одного модуля без учета сопутствующей

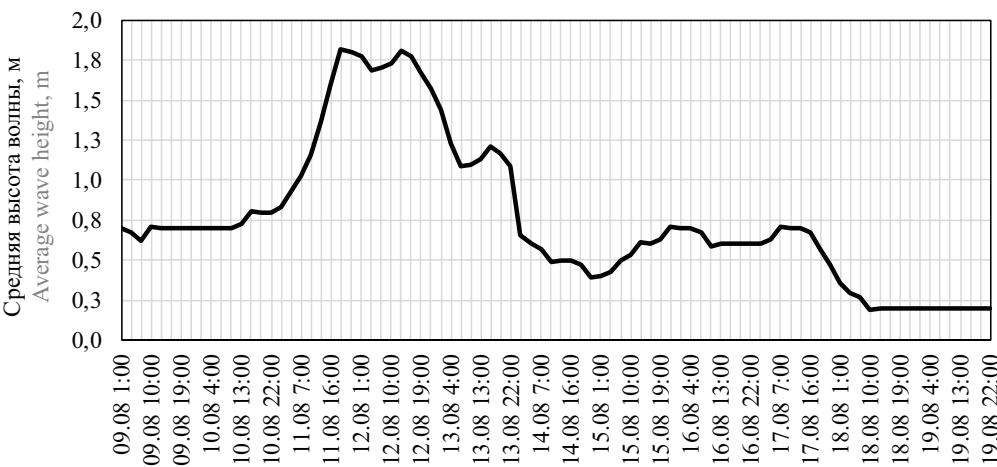


Рис. 6. Средняя высота волны в Японском море в районе бухты Рында (о. Русский) в период с 09.08.2023 по 19.08.2023

Fig. 6. Average wave height in the Sea of Japan near Rynda Bay (Russian Island) in the period from 08.09.2023 to 08.19.2023

Табл. 1. Производительность технологии в случае внедрения в западной части прибрежной полосы Японского моря

Table 1. Technology performance in the case of implementation in the western part of the coastal zone of the Sea of Japan

Периоды волн $T$ , с Wave periods $T$ , s		0–2	2–4	4–6	6–8	$\geq 8$	Среднечасовая (в течение месяца) производительность по пресной воде, м³/ч Average hourly (over the course of a month) fresh water productivity, m³/h	Месячный объем производимой пресной воды одним модулем, м³ Monthly volume of fresh water produced by one module, m³
Принятый период волны в выделенном диапазоне $T^{mid}$ , с Accepted wave period in the selected range $T^{mid}$ , s		1	3	5	7	10		
Месяц Month	Удельный вес $m$ выделенного диапазона периодов Specific weight $m$ of the selected range of periods	0,002	0,6413	0,3270	0,0272	0,0018		
	Средняя высота волны $H$ , м Average wave height $H$ , m	Среднечасовая производительность по пресной воде, л/ч, в выделенном диапазоне периодов волн от одного модуля Average hourly productivity for fresh water, l/h, in the selected range of wave periods from one module						
1	0,59	2,50	267,32	81,78	4,86	0,23	0,357	265,37
2	0,57	2,42	258,25	79,01	4,69	0,22	0,345	231,57
3	0,61	2,59	276,38	84,56	5,02	0,23	0,369	274,37
4	0,68	2,88	308,09	94,26	5,60	0,26	0,411	295,99
5	0,66	2,80	299,03	91,49	5,44	0,25	0,399	296,86
6	0,67	2,84	303,56	92,87	5,52	0,26	0,405	291,63
7	0,68	2,88	308,09	94,26	5,60	0,26	0,411	305,85
8	0,65	2,76	294,50	90,10	5,35	0,25	0,393	292,36
9	0,60	2,54	271,85	83,17	4,94	0,23	0,363	261,17
10	0,63	2,67	285,44	87,33	5,19	0,24	0,381	283,36
11	0,63	2,67	285,44	87,33	5,19	0,24	0,381	274,22
12	0,60	2,54	271,85	83,17	4,94	0,23	0,363	269,87
Всего за год от одного модуля, м³ / In just a year from one module, m³								3342,63
Всего за год от $N = 30$ модулей, тыс. м³ / In total for a year from $N = 30$ modules, thousand m³								100,279
В том числе с учетом наличия ледяного покрова в течение 3 зимних месяцев ( $k_1 = 0,75$ ), тыс. м³ Including taking into account the presence of ice cover during 3 winter months ( $k_1 = 0,75$ ), thousand m³								75,209
Среднесуточная (за год) производительность от $N = 30$ модулей, м³/сут Average daily (per year) productivity from $N = 30$ modules, m³/day								206,053
Эквивалентное число потребителей (при принятом удельном водопотреблении 200 л/сут на чел.), чел. Equivalent number of consumers (at the accepted specific water consumption 200 l/day per person), person								1030



Табл. 2. Производительность технологии в случае внедрения в прибрежной полосе Черного моря  
Table 2. Technology performance in the case of implementation in the coastal zone of the Black Sea

Периоды волн $T$ , с Wave periods $T$ , s		0–2	2–4	4–6	6–8	$\geq 8$	Средне- часовая (в течение месяца) производи- тельность по пресной воде, м³/ч Average hourly (over the course of a month) fresh water productivity, m³/h	Месяч- ный объем произ- водимой пресной воды од- ним мо- дулем, м³ Monthly volume of fresh water produced by one module, m³
Принятый период волны в выделенном диапазоне $T^{mid}$ , с Accepted wave period in the selected range $T^{mid}$ , s		1	3	5	7	10		
Месяц Month	Удельный вес $m$ выделенного диа- пазона периодов Specific weight $m$ of the selected range of periods	0,0006	0,4623	0,4859	0,0050	0,0016		
	Средняя высота волны $H$ , м Average wave height $H$ , m	Среднечасовая производительность по пресной воде, л/ч, в выделенном диапазоне периодов волн от одного модуля Average hourly productivity for fresh water, l/h, in the se- lected range of wave periods from one module						
1	0,83	1,06	271,09	170,96	12,57	0,28	0,456	339,23
2	0,78	0,99	254,76	160,66	11,81	0,26	0,428	287,94
3	0,67	0,85	218,83	138,00	10,14	0,23	0,368	273,83
4	0,57	0,72	186,17	117,40	8,63	0,19	0,313	225,45
5	0,48	0,61	156,78	98,87	7,27	0,16	0,264	196,18
6	0,5	0,64	163,31	102,99	7,57	0,17	0,275	197,76
7	0,46	0,58	150,24	94,75	6,96	0,16	0,253	188,01
8	0,4	0,51	130,65	82,39	6,06	0,14	0,220	163,48
9	0,52	0,66	169,84	107,11	7,87	0,18	0,286	205,67
10	0,56	0,71	182,90	115,34	8,48	0,19	0,308	228,88
11	0,68	0,86	222,10	140,06	10,29	0,23	0,374	268,96
12	0,8	1,02	261,29	164,78	12,11	0,27	0,439	326,97
Всего за год от одного модуля, м³ / In just a year from one module, m³								2902,35
Всего за год от $N = 30$ модулей, тыс. м³ / In total for a year from $N = 30$ modules, thousand m³								87,071
Ледяной покров на поверхности акватории отсутствует, тыс. м³ There is no ice cover on the surface of the water area, thousand m³								–
Среднесуточная (за год) производительность от $N = 30$ модулей, м³/сут Average daily (per year) productivity from $N = 30$ modules, m³/day								238,549
Эквивалентное число потребителей (при принятом удельном водопотреблении 200 л/сут на чел.), чел. Equivalent number of consumers (at the accepted specific water consumption 200 l/day per person), person								1190

снимаемой пневматической мощности:

$$N_1 = F \cdot \frac{H - h_b}{T}. \tag{16}$$

Срок окупаемости внедренного технического решения в случае использования разработанных технических решений только с целью получения пресной воды определяется как:

$$T_{ок} = \frac{C_1}{\mathfrak{E}_{год}}, \tag{17}$$

где  $C_1$  — стоимость одного модуля не превышает  $C_1 \leq 300$  тыс. руб.;  $\mathfrak{E}_{год}$  — годовая экономия на электроэнергии за счет внедрения энергетической модульной станции, тыс. руб.:

$$\mathfrak{E}_{год} = c_{кВт\cdot ч} \cdot F \cdot \sum_{i=1}^{i=12} \frac{H_i - h_b}{\sum \left( \frac{m_j}{T_j^{mid}} \right)} \cdot t \cdot k_1 \cdot n_i, \tag{18}$$

где  $c_{кВт\cdot ч}$  — стоимость электроэнергии в месте размещения технологии, руб./кВт·ч;  $H_i$  — средняя высота волны в  $i$ -й месяц, м.

Графическое отображение формулы (17) приведено на рис. 8. Горизонтальная линия — числитель формулы, наклонные линии — знаменатель. Пересечение линий — точка окупаемости. Срок окупаемости только при производстве пресной воды (в сравнении с применением стандартных центробежных насосов для подачи на обратноосмотические мембраны) составляет от 11 месяцев до 2 лет

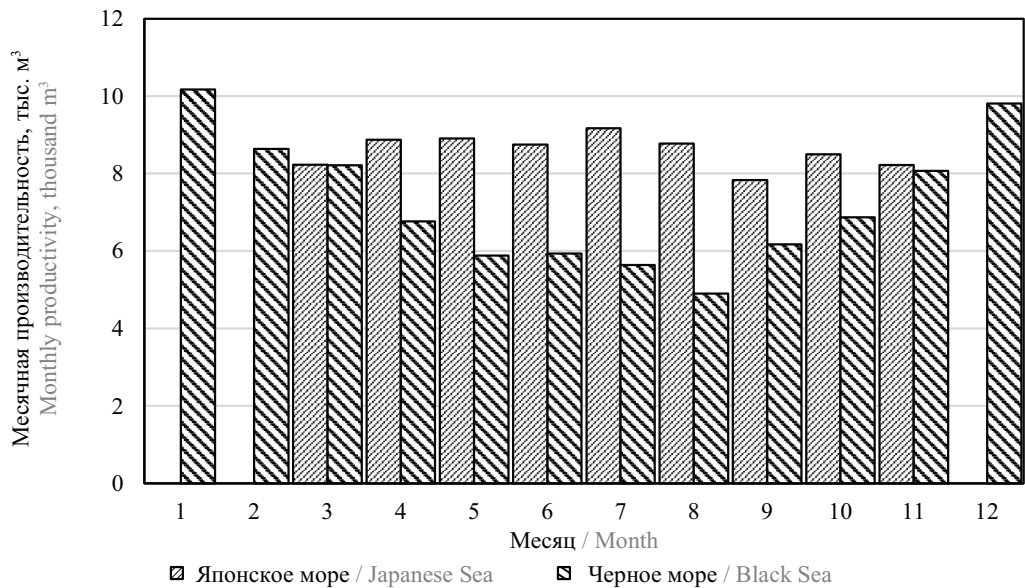


Рис. 7. Месyчная производительность технологии при внедрении и реализации в прибрежной полосе Японского и Черного морей

Fig. 7. Monthly productivity of the technology during introduction and implementation in the coastal zone of the Black Sea and the Sea of Japan

в зависимости от стоимости электроэнергии — от 5 до 10 руб. за 1 кВт·ч. При реализации всей технологической схемы (рис. 3) срок окупаемости будет снижаться до двух раз в зависимости от местных условий.

Чем меньше стоимость плавучих модулей и выше цена на электроэнергию с учетом логистики (например, при генерации на автономном источнике — дизель-генераторе), тем эффективнее использование возобновляемой энергии морских волн для жизнеобеспечения пляжных модульных отелей. Кроме того, применение возобновляемой энергии

не загрязняет воздух в месте расположения пляжных глэмпингов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработанное техническое решение насоса-компрессора позволяет исключить из обратноосмотических установок энергопотребляющее оборудование — высоконапорные насосы подачи морской воды на обратноосмотические мембраны (рис. 3). Предлагаемая технология жизнеобеспечения пляжных глэмпингов в прибрежной полосе морских акваторий дает возможность получать объемы пре-

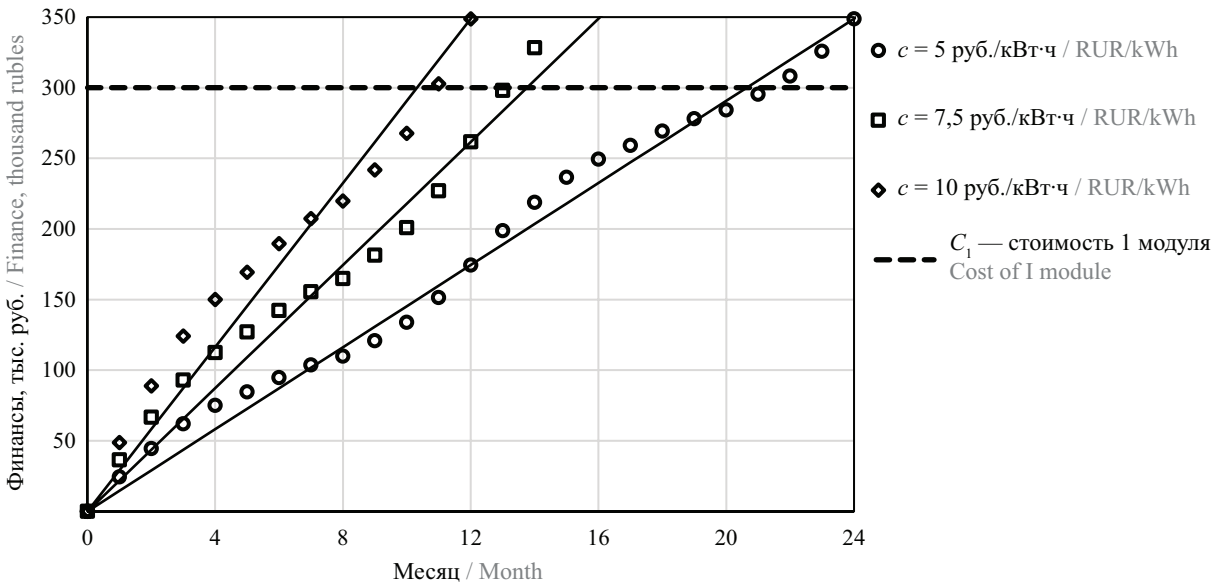


Рис. 8. Экономическая эффективность использования энергии морских волн для обеспечения пресной водой пляжных модульных отелей в прибрежной полосе Черного моря

Fig. 8. Cost-effective use of sea wave energy to provide fresh water for beach modular hotels in the coastal zone of the Black Sea

сной воды, достаточные для значительного числа потребителей (табл. 1, 2). Использование технологии на замерзающих морях обосновано при некруглогодичном режиме работы. Срок окупаемости в зависимости от стоимости электроэнергии не пре-

вышает двух лет без учета сопутствующей снимаемой полезной пневматической мощности. При съеме пневматической мощности с целью генерации полезной тепловой мощности экономическая эффективность технологии увеличивается.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Латышева А.А., Мозокина С.Л., Хорева Л.В., Шраер А.В. Инновационные подходы к организации услуг санаторно-курортного туризма // Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета. 2022. № 3 (135). С. 82–88. EDN UDKTZN.

2. Петренко А.С. Формирование и управление инвестиционной политикой туристской отрасли в Ростовской области // Перспективы развития индустрии туризма и гостеприимства: теория и практика : сб. тр. Второй Междунар. науч.-практ. конф. 2019. С. 52–58. EDN EXNQSE.

3. Giannoukou I., Fafouti E., Halkiopoulos C. Behavior analysis of glamping as a novel tourism marketing trend // Tourism, Travel, and Hospitality in a Smart and Sustainable World. 2023. Pp. 537–562. DOI: 10.1007/978-3-031-29426-6\_34

4. Nsafon B.E.K., Owolabi A.B., Butu H.M., Roh J.W., Suh D., Huh J. Optimization and sustainability analysis of PV/wind/diesel hybrid energy system for decentralized energy generation // Energy Strategy Reviews. 2020. Vol. 32. P. 100570. DOI: 10.1016/j.esr.2020.100570

5. Robertson B., Bekker J., Buckham B. Renewable integration for remote communities: Comparative allowable cost analyses for hydro, solar and wave energy // Applied Energy. 2020. Vol. 264. P. 114677. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114677

6. Dorofeeva A.R. Towards green travel: application of principles of ecological tourism in the Russian glamping market // European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation. 2021. Vol. 11. Issue 2. Pp. 171–180. DOI: 10.2478/ejthr-2021-0016

7. Khan M.Z.A., Khan H.A., Aziz M. Harvesting energy from ocean: technologies and perspectives // Energies. 2022. Vol. 15. Issue 9. P. 3456. DOI: 10.3390/en15093456

8. Safari M., Sohani A., Sayyaadi H. A higher performance optimum design for a tri-generation system by taking the advantage of water-energy nexus // Journal of Cleaner Production. 2021. Vol. 284. P. 124704. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124704

9. Ahmad Z., Shukla A.K., Singh V., Sharma M., Kumar P. Thermodynamic analysis of solar powered tri-generation arrangement for cooling, power and drinking water generation // Songklanakarin Journal of Science & Technology. 2022. Vol. 44. Issue 6. Pp. 1419–1426. DOI: 10.14456/sjst-psu.2022.184

10. Jahangiri M., Karimi Shahmarvandi F., Alayi R. Renewable energy-based systems on a residen-

tial scale in southern coastal areas of Iran: Trigeneration of heat, power, and hydrogen // Journal of Renewable Energy and Environment (JREE). 2021. Vol. 8. Issue 4. Pp. 67–76. DOI: 10.30501/jree.2021.261980.1170

11. Méndez C., Bicer Y. Integrated system based on solar chimney and wind energy for hybrid desalination via reverse osmosis and multi-stage flash with brine recovery // Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2021. Vol. 44. P. 101080. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101080

12. Idarraga-Mora J.A., Lemelin M.A., Weinman S.T., Husson S.M. Effect of short-term contact with C1–C4 monohydric alcohols on the water permeance of MPD-TMC Thin-Film composite reverse osmosis membranes // Membranes. 2019. Vol. 9. Issue 8. P. 92. DOI: 10.3390/membranes9080092

13. Соловьева З.А. Водный сектор арабских стран: дефицит воды и зеленые технологии // Труды Института востоковедения РАН. 2019. № 22. С. 263–285. EDN MRSRBE.

14. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Иванов С.В., Чернышова Е.С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. СПб. : Рос-сийский морской регистр судоходства, 2006. 452 с.

15. Лопатухин Л.И., Бухановский А.В., Чернышова Е.С. Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей. СПб. : Рос-сийский морской регистр судоходства, 2009. 356 с.

16. Arkhipkin V.S., Gippius F.N., Koltermann K.P., Surkova G.V. Wind waves in the Black Sea: results of a hindcast study // Natural Hazards and Earth System Sciences. 2014. Vol. 14. Issue 11. Pp. 2883–2897. DOI: 10.5194/nhess-14-2883-2014

17. Гиппиус Ф.Н., Архипкин В.С., Суркова Г.В. Режим ветрового волнения на Черном море по данным ретроспективных расчетов // Комплексные исследования морей России: оперативная океано-графия и экспедиционные исследования : мат. мол. науч. конф. 2016. С. 270. EDN WBHPRR.

18. Rusu L. The wave and wind power potential in the western Black Sea // Renewable Energy. 2019. Vol. 139. Pp. 1146–1158. DOI: 10.1016/j.renene.2019.03.017

19. Bingölbalı B., Jafali H., Akpınar A., Bekiroğlu S. Wave energy potential and variability for the south west coasts of the Black Sea: The WEB-based wave energy atlas // Renewable Energy. 2020. Vol. 154. Pp. 136–150. DOI: 10.1016/j.renene.2020.03.014

20. Kamranzad B., Takara K. A climate-dependent sustainability index for wave energy resources in Northeast Asia // *Energy*. 2020. Vol. 209. P. 118466. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118466.

21. Плотников В.В., Четырбоцкий А.Н., Гордейчук Т.В. Оценка состояния ледяного покрова Японского моря // *Метеорология и гидрология*. 2010. № 3. С. 46–55. EDN MBBUPP.

Поступила в редакцию 10 октября 2023 г.

Принята в доработанном виде 16 октября 2023 г.

Одобрена для публикации 10 января 2024 г.

**ОБ АВТОРАХ:** **Виктор Владимирович Миронов** — доктор технических наук, профессор кафедры инженерных систем и сооружений; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; РИНЦ ID: 384652, Scopus: 57196778368, ResearcherID: AАН-6967-2019, ORCID: 0000-0001-8939-850X; vvmironov@list.ru;

**Юрий Андреевич Иванюшин** — кандидат технических наук, доцент кафедры инженерных систем и сооружений; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; РИНЦ ID: 758082, Scopus: 56199460900, ResearcherID: V-9425-2019, ORCID: 0000-0002-4470-6967; ivanjushin@tyuiu.ru;

**Даниил Алексеевич Суглобов** — аспирант; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; инженер-проектировщик водоснабжения и канализации; **Югорский проектный институт**; 625002, г. Тюмень, ул. Комсомольская, д. 60, suglobovda@gmail.com;

**Дмитрий Викторович Миронов** — кандидат технических наук, доцент, ведущий инженер; **ЭЛЕКТРОРАМ**; 625023, г. Тюмень, ул. Пржевальского, д. 33, корп. 1, кв. 79; dvmironov@yandex.ru;

**Лев Игоревич Максимов** — инженер центра перспективных исследований и инновационных разработок; **Тюменский индустриальный университет (ТИУ)**; 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38; РИНЦ ID: 850735, Scopus: 57190855057, ResearcherID: B-9883-2016, ORCID: 0000-0001-6915-4778; maksimovli@tyuiu.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## REFERENCES

1. Latysheva A.A., Mozokina S.L., Khoreva L.V., Shraer A.V. Innovative approaches to the organization of services of sanatorium tourism. *News of the St. Petersburg State University of Economics*. 2022; 3(135):82-88. EDN UDKTZN. (rus.).

2. Petrenko A.S. Formation and management of investment policies of tourism industry in Rostov region. *Prospects for the development of the tourism and hospitality industry: theory and practice : collection of proceedings of the Second International Scientific and Practical Conference*. 2019; 52-58. EDN EXNQSE. (rus.).

3. Giannoukou I., Fafouti E., Halkiopoulos C. Behavior analysis of glamping as a novel tourism marketing trend. *Tourism, Travel, and Hospitality in a Smart and Sustainable World*. 2023; 537-562. DOI: 10.1007/978-3-031-29426-6\_34

4. Nsafon B.E.K., Owolabi A.B., Butu H.M., Roh J.W., Suh D., Huh J. Optimization and sustainability analysis of PV/wind/diesel hybrid energy system for decentralized energy generation. *Energy Strategy Reviews*. 2020; 32:100570. DOI: 10.1016/j.esr.2020.100570

5. Robertson B., Bekker J., Buckham B. Renewable integration for remote communities: Comparative allowable cost analyses for hydro, solar and wave energy. *Applied Energy*. 2020; 264:114677. DOI: 10.1016/j.apenergy.2020.114677

6. Dorofeeva A.R. Towards green travel: application of principles of ecological tourism in the Russian glamping market. *European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation*. 2021; 11(2):171-180. DOI: 10.2478/ejthr-2021-0016

7. Khan M.Z.A., Khan H.A., Aziz M. Harvesting energy from ocean: technologies and perspectives. *Energies*. 2022; 15(9):3456. DOI: 10.3390/en15093456

8. Safari M., Sohani A., Sayyaadi H. A higher performance optimum design for a tri-generation system by taking the advantage of water-energy nexus. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 284:124704. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124704

9. Ahmad Z., Shukla A.K., Singh V., Sharma M., Kumar P. Thermodynamic analysis of solar powered tri-generation arrangement for cooling, power and drinking water generation. *Songklanakarin Journal of Science & Technology*. 2022; 44(6):1419-1426. DOI: 10.14456/sjst-psu.2022.184

10. Jahangiri M., Karimi Shahmarvandi F., Alayi R. Renewable energy-based systems on a residential scale in southern coastal areas of Iran: Trigenation of heat, power, and hydrogen. *Journal of Renewable Energy and Environment (JREE)*. 2021; 8(4):67-76. DOI: 10.30501/jree.2021.261980.1170

11. Méndez C., Bicer Y. Integrated system based on solar chimney and wind energy for hybrid desalination



via reverse osmosis and multi-stage flash with brine recovery. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2021; 44:101080. DOI: 10.1016/j.seta.2021.101080

12. Idarraga-Mora J.A., Lemelin M.A., Weinman S.T., Husson S.M. Effect of short-term contact with C1–C4 monohydric alcohols on the water permeance of MPD-TMC Thin-Film composite reverse osmosis membranes. *Membranes*. 2019; 9(8):92. DOI: 10.3390/membranes9080092

13. Solovieva Z. Water sector of the Arab countries: water deficit and green technologies. *Proceedings of the Institute of Oriental Studies of the Russian Academy of Sciences*. 2019; 22:263-285. EDN MRSRBE. (rus.).

14. Lopatukhin L.I., Bukhanovskiy A.V., Ivanov S.V., Chernyshova E.S. *Reference data on the wind and wave regime of the Baltic, North, Black, Azov and Mediterranean seas*. St. Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2006; 452. (rus.).

15. Lopatukhin L.I., Bukhanovskiy A.V., Chernyshova E.S. *Reference data on the wind and wave regime of the Japan and Kara Seas*. St. Petersburg, Russian Maritime Register of Shipping, 2009; 356. (rus.).

16. Arkhipkin V.S., Gippius F.N., Koltermann K.P., Surkova G.V. Wind waves in the Black

Sea: results of a hindcast study. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 2014; 14(11):2883-2897. DOI: 10.5194/nhess-14-2883-2014

17. Gippius F.N., Arkhipkin V.S., Surkova G.V. Wind wave regime in the Black Sea according to retrospective calculations. *Comprehensive studies of the seas of Russia : proceedings of the youth scientific conference*. 2016; 270. EDN WBHPRR. (rus.).

18. Rusu L. The wave and wind power potential in the western Black Sea. *Renewable Energy*. 2019; 139:1146-1158. DOI: 10.1016/j.renene.2019.03.017

19. Bingölbali B., Jafali H., Akpınar A., Bekiroğlu S. Wave energy potential and variability for the south west coasts of the Black Sea: The WEB-based wave energy atlas. *Renewable Energy*. 2020; 154:136-150. DOI: 10.1016/j.renene.2020.03.014

20. Kamranzad B., Takara K. A climate-dependent sustainability index for wave energy resources in Northeast Asia. *Energy*. 2020; 209:118466. DOI: 10.1016/j.energy.2020.118466

21. Plotnikov V.V., Gordeichuk T.V., Chetyrbotskii A.N. Estimation of the state of ice cover in the sea of Japan. *Meteorology and Hydrology*. 2010; 3:46-55. EDN MBBUPP. (rus.).

Received October 10, 2023.

Adopted in revised form on October 16, 2023.

Approved for publication on January 10, 2024.

**B I O N O T E S:** **Viktor V. Mironov** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Engineering Systems and Structures; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; ID RSCI: 384652, Scopus: 57196778368, ResearcherID: AAH-6967-2019, ORCID: 0000-0001-8939-850X; vvmironov@list.ru;

**Yuriy A. Ivanyushin** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Engineering Systems and Structures; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; ID RSCI: 758082, Scopus: 56199460900, ResearcherID: V-9425-2019, ORCID: 0000-0002-4470-6967; ivanjushin@tyuiu.ru;

**Daniil A. Suglov** — postgraduate student; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; water supply and sewerage design engineer; **Yugra Design Institute**; 60 Komsomolskaya st., Tyumen, 625002, Komsomolskaya st., Russian Federation; suglovda@gmail.com;

**Dmitriy V. Mironov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, lead engineer; **ELECTRORAM**; 79, frame 1, 33 Przhevalskogo st., Russian Federation; dvmironov@yandex.ru;

**Lev I. Maksimov** — engineer at the Center for Advanced Research and Innovative Development; **Industrial University of Tyumen (IUT)**; 38 Volodarskogo st., Tyumen, 625000, Russian Federation; ID RSCI: 850735, Scopus: 57190855057, ResearcherID: B-9883-2016, ORCID: 0000-0001-6915-4778; maksimovli@tyuiu.ru.

*Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*

*The authors declare no conflict of interest.*