

Оригинальная статья

УДК 502/504: 626/627:620.92:627.223.5

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-50-57

ИНВЕСТИЦИОННАЯ ПРИВЛЕКАТЕЛЬНОСТЬ ПРИЛИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ И ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЁ РАЗВИТИЕ В МИРЕ

БАКШТАНИН АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ[✉], канд. техн. наук, доцент
bakshhtanin@mail.ru

КРЫЛОВ АЛЕКСЕЙ ПЕТРОВИЧ, аспирант
krylovalexiy@gmail.com

БЕГЛЯРОВА ЭВЕЛИНА СУРЕНОВНА, канд. техн. наук, профессор

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская, 49. Россия

В связи с увеличивающимся спросом энергопотребителей в качественных, энергоёмких источниках генерации электроэнергии с высоким показателем EROI, все более привлекательными становятся реализации проектов приливных электростанций. На текущий момент, в мире существует более 100 створов, где возможна техническая реализация проектов ПЭС. До недавнего времени дешёвая и, казалось бы, безграничная ископаемая энергия позволяла большей части общества игнорировать важность вклада альтернативных источников энергогенерации таких как приливные электростанции, однако уже в настоящее время их востребованность возрастает. Реализация проектов по строительству ПЭС способствует устойчивому развитию прибрежных городов, вносит существенный вклад в энергобаланс системы. Энергопотенциал приливной энергетики достаточно высок и сравним с энергопотенциалом рек Земного шара. По сравнению с речной энергией энергия приливов и ветровых волн низкопотенциальная, а, следовательно в большинстве случаев более дорогостоящая. Стоит отметить, что преимуществом приливной энергетики является экологическая чистота, уменьшение вероятности подтопления прилегающих территорий и отсутствие изменения прибрежного ландшафта.

Ключевые слова: энергия прилива, приливные электростанции, EROI, экология, показатель инвестиционной привлекательности энергетики

Формат цитирования: Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С. Инвестиционная привлекательность приливной энергетики и факторы, определяющие её развитие в мире // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 50-57. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-50-57.

© Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С., 2021

Scientific article

THE INVESTMENT ATTRACTIVENESS OF TIDAL ENERGY AND THE FACTORS THAT DETERMINE ITS DEVELOPMENT IN THE WORLD

BAKSHHTANIN ALEXANDR MIKHAILOVICH[✉], candidate of technical sciences, associate professor
bakshhtanin@mail.ru

KRYLOV ALEXEY PETROVICH, post graduate student
krylovalexiy@gmail.com

BEGLYAROVA EVELINA SURENOVNA, candidate of technical sciences, professor

Russian state agrarian university – MSHA named after C.A. Timiryazev; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

Due to the increasing demand of energy consumers for high-quality, energy-intensive sources of electricity generation with a high EROI index, the implementation of tidal power

plant projects is becoming increasingly attractive. At the moment, there are more than 100 stations in the world where the technical realization of TPP projects is possible. Until recently, cheap and seemingly limitless fossil energy allowed most of society to ignore the importance of the contribution of alternative sources of energy generation such as PES, but now their demand is increasing. The implementation of TPP construction projects contributes to the sustainable development of coastal towns and makes a significant contribution to the energy balance of the system. The energy potential of tidal energy is quite large and comparable to the energy potential of the rivers of the Globe. Compared to river energy, the energy of tides and wind waves is low-potential, and therefore in most cases more expensive. It is worth noting that the advantage of tidal energy is environmental cleanliness, reducing the likelihood of flooding of adjacent territories and the absence of changes in the coastal landscape.

Keywords: tidal power, tidal power plants, EROI, ecology, factors of the investment attractiveness of energy

Format of citation: Bakshatanin A.M., Krylov A.P., Beglyarova E.S. The investment attractiveness of tidal energy and the factors that determine its development in the world // Prirodobustrojstvo. – 2021. – № 2. – S. 50-57. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-50-57.

Введение. В связи с исчерпанием дешевых запасов нефти, газа, угля и неблагоприятными последствиями на Земле при их сжигании в огромных количествах для получения электроэнергии, потребность в освоении приливной энергетики неуклонно возрастает. В современной энергетике представляют интерес возобновляемые и экологически чистые источники энергии, такие как энергия приливов и энергия ветровых волн в прибрежной зоне морей и океанов.

В сравнении с речной гидроэнергетикой, где с учетом деривации напоры на некоторых горных ГЭС достигают 1000 м и более, приливная гидроэнергетика ограничена высотой приливов, которая в пригодных для строительства ПЭС местах не превышает 5-10 м [1]. Существуют лишь несколько мест на Земле, где максимальная высота прилива достигает 16-18 м (Залив Фанди в Северной Америке, устье реки Северн в Англии). Также в отличие от речной энергетики на ПЭС невозможно суточное, недельное, сезонное и многолетнее регулирование стока рек и регулирование мощности, что обуславливает специфику работы подобных объектов в общей энергосистеме.

Создание речных водохранилищ связано с затоплением больших территорий и угрозой возникновения катастрофических волн при прорыве плотин с нанесением этими волнами большого экономического ущерба и человеческими жертвами, что исключается в приливной и волновой энергетике [2]. Кроме того, выработка энергии на приливных электростанциях, связанная с космическими факторами (притяжение

Луны и Солнца), в среднем за месяц практически неизменна, в то время как в речной гидроэнергетике она сильно зависит от водности периода. Имеет большое значение создание крупных энергосистем с передачей электроэнергии на значительные расстояния, способных принять пульсирующую в течение суток энергию мощных ПЭС и нерегулярную энергию волновых электростанций. Следует также отметить высокую экологическую чистоту приливной и волновой гидроэнергетики по сравнению с тепловыми и атомными электростанциями [3].

Основная цель настоящей статьи заключается в исследовании и анализе существующих подходов к использованию и оценке инвестиционной привлекательности использования энергии приливов в условиях общей интенсификации промышленности, повышения значимости факторов, эффективности и окупаемости энергетики.

Материалы и методы. Начало развития морской энергетики России и мира связывают с пуском пионерной в мире промышленной приливной электростанции (ПЭС) Ранс в 1966 г. во Франции мощностью 240 МВт и с пуском в 1968 г. в России Кислогубской ПЭС в губе Кислой Баренцева моря. После этих первых морских электростанций вошли в строй: опытная ПЭС Аннаполис в Канаде, 7 малых ПЭС в Китае, малая Мезенская ПЭС и, наконец, в 2011 г. в Республике Корея пустили вторую промышленную ПЭС в мире – ПЭС «Сихва» мощностью 254 МВт. Ниже на рисунке 1 представлена карта приливов и возможного расположения ПЭС в мире.

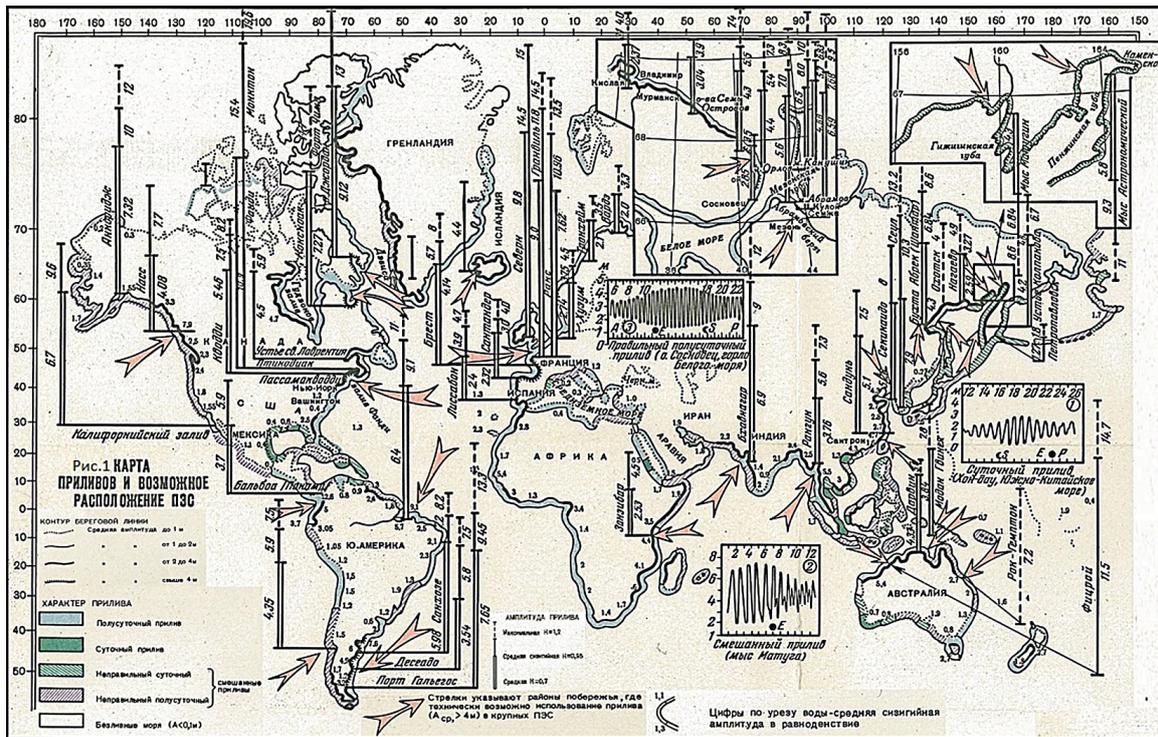


Рис. 1. Перспективные районы строительства приливных электростанций
Fig. 1. Promising areas for the construction of tidal power plants

Одним из важнейших показателей при оценке перспективности использования того или иного источника электрогенерации является показатель EROI – отношение количества пригодной к использованию энергии, полученной из определённого источника энергии, к количеству энергии, затраченной на получение этого энергетического ресурса. В целом показатель EROI можно представить в виде:

$$EROI = \frac{\text{энергия затраченная}}{\text{энергия полученная}} \quad (1)$$

Энергетический потенциал ПЭС для нормального полусуточного прилива рекомендуется определять по следующей формуле:

$$\Theta = \int_0^{8760} N(t) dt, \quad (2)$$

где dt – в часах.

Изменение мощности ПЭС $N(t)$ в течение цикла выражается формулой:

$$N(t) = \frac{\rho_{\text{МВ}}}{\rho_{\text{В}}} \cdot 9,81 \cdot F_0 \left| \frac{dz_b}{dt} \right| |Z_0 - Z_{\text{М}}| \eta_{\text{ЭН}}, \quad (3)$$

где $\frac{\rho_{\text{МВ}}}{\rho_{\text{В}}}$ – отношение плотности морской и пресной воды; $\eta_{\text{ЭН}}$ – КПД энергетического оборудования; Z_0 – уровень в бассейне, м; $Z_{\text{М}}$ – уровень в море, м; F_0 – средняя площадь зеркала бассейна в пределах приливных колебаний уровня, м².

Энергетические и экономические общества в настоящее время обеспокоены сокращением доступных ископаемых энергетических ресурсов и последствиями их сокращения для нормального функционирования общества. Все больше внимания уделяется производству «чистой энергии» и такому показателю как энергетическая отдача от инвестиций в энергетику (EROI). Несмотря на то что, большинство ученых энергетиков соглашались с мнением экономистов и геологов о том, что в недрах земли остались достаточные запасы нефти, и что более высокие цены будут стимулировать ее добычу и производство, они также отмечают, что существует предел тому, сколько мы можем заплатить за добычу нефти. Все это в конечном итоге сводится к показателю EROI как основному индикатору целесообразности того или иного источника энергии [4]. В случае если EROI близок к 1 или менее, то использование того или иного энергоносителя не является целесообразным.

На рисунке 2 представлена сравнительная диаграмма различных источников энергии ранжированных по показателю EROI. Чем больше показатель EROI, тем больше энергии вырабатывается при наименьших усилиях.

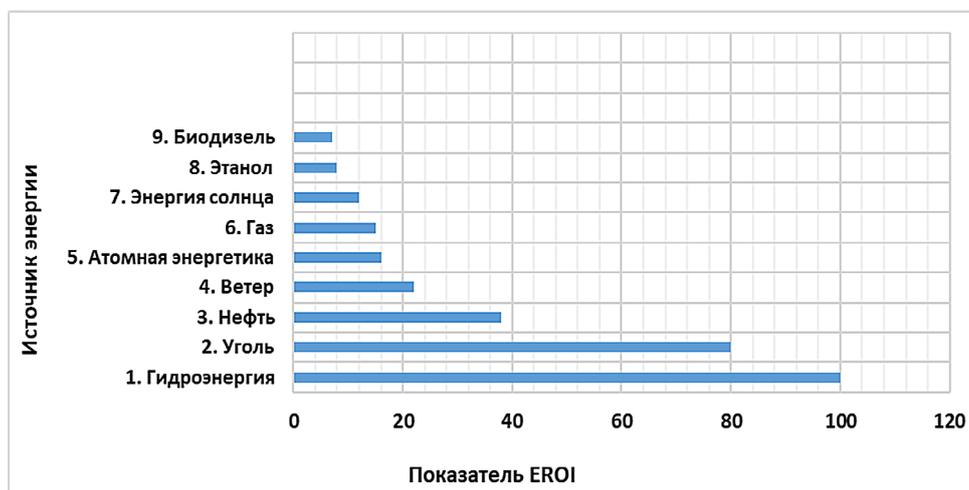


Рис. 2. Показатель EROI различных источников энергии

Fig. 2. EROI factor of different energy sources

Как видим исходя из предоставленного графика [5] наиболее легкодоступными и высококачественными энергетическими ресурсами на текущий момент являются: уголь и гидроэнергетика.

Также можно сделать вывод, что большинство альтернативных возобновляемых источников энергии в настоящее время имеют значительно более низкие значения EROI, чем любой из не возобновляемых ископаемых видов топлива. Интересным представляется оценка EROI для ПЭС.

Например, во Франции на промышленной ПЭС «Ранс» стоимость электроэнергии дешевле электроэнергии работающих совместно с ней в единой энергосистеме ТЭС, АЭС и ГЭС, и тенденция разрыва этих стоимостей со временем всё более увеличивается в пользу ПЭС [1, 6]. Можно сделать вывод, что показатель EROI, для приливной электростанции может быть достаточно высок и даже превосходить показатели речной гидроэнергетики в зависимости от масштаба реализованных проектов [7].

Если расходы на первую ПЭС «Ранс» превысили в 2,4 раза расходы на сопоставимую речную гидроэлектростанцию (ГЭС), то через полвека удельная стоимость ПЭС «Сихва» составила уже 2,5 тыс. долл. США/кВт и стала конкурировать с капитальными расходами на современные ГЭС (например, по проекту 2011 г. стоимость гигаватной Канкунской ГЭС в Якутии 7,17 тыс. долл. США/кВт). По данным Международного Энергетического Агентства (IEA)

планируемая стоимость к 2020 г. для ПЭС – 2,20 тыс. долл. США/кВт, а для сопоставимых по мощности ГЭС – 4,04 тыс. долл. США/кВт.

Результаты и обсуждение. Теоретический энергетический потенциал прилива оценивается различными авторами в 2500-4000 ГВт, что сопоставимо с технически возможным речным энергетическим потенциалом (4000 ГВт). Реализация приливной энергии в настоящее время намечается в 140 створах побережья Мирового океана с ожидаемой выработкой 2000 ГВт ч/г, что составляет около 8% современного энергопотребления в мире.

Сопоставление возможного энергетического потенциала ПЭС с потенциалом действующих в России электростанций показывает, что приливные электростанции даже при их полном развитии не решат всех проблем энергетики. Однако в удаленных от центра остродефицитных регионах Севера Европейской части страны и Дальнего Востока приливные электростанции могут полномасштабно решить актуальные проблемы энергетики и экологии этих регионов. Использование энергии приливов позволяет реализовать ее основное положительное качество гарантированное постоянство среднемесячного потенциала в сезонном и многолетнем периодах для обеспечения эффективной гармоничной работы с электростанциями различных видов, в том числе по технологии выработки водорода. Водород, как искусственный энергоноситель с примерно одинаковой и высокой эффективностью, может быть

использован в различных отраслях промышленности (энергетике, металлургии, транспорте и т.д.) для вытеснения природного жидкого и газообразного топлива ядерной энергией и углем. Это уникальное его свойство особенно проявляется при создании энерготехнологических комплексов различных типов.

При децентрализованном производстве электроэнергии при транспортировке энергии с помощью высоковольтных сетей и по водородным трубопроводам, при расстоянии транспортировки энергии более чем на 150-250 км дешевле оказывается транспорт водорода [8, 9].

Оценка эксплуатируемых ПЭС и современных проектов ПЭС показывает, что в техническом аспекте проблема их строительства практически полностью решена. Так в России по проектам института «Гидропроект» при сооружении ПЭС, ЛЭП и морских гидротехнических комплексов успешно апробирован наплавной способ строительства (без перемычек), ускоряющий в 1,5-2 раза сроки возведения объектов и удешевляющий их стоимость на 33-42% [6]. Особое значение имеет опыт наплавного способа строительства крупных блоков водопропускных сооружений в защитной дамбе г. Санкт-Петербурга, которые можно рассматривать в качестве прямого прототипа для наплавных блоков будущих мощных Мезенской, Тугурской и Пенжинской ПЭС [10].

На Кислогубской и ПЭС «Ранс» за пять десятилетий эксплуатации подтверждена экологическая чистота приливной энергии, благодаря биологически проницаемым плотинам ПЭС и сохранению природного ритма приливов в бассейнах станций. Даже при временной изоляции бассейна от моря (на ПЭС «Ранс» из-за ограждения перемычками, на Кислогубской – из-за остановки станции), флора и фауна бассейнов восстанавливались через 8-10 лет, при этом ПЭС положительно влияет на увеличение продуктивности биомассы донного сообщества. Весьма показательны результаты беспрепятственного прохода через ПЭС планктонных организмов – кормовой базы рыбного хозяйства [11].

В итоге можно констатировать, что воздействие ПЭС на окружающую среду

носит сугубо локальный характер. Приливные электростанции практически не оказывают вредного воздействия на флору, фауну и на здоровье людей. В таблице представлен обзор действующих и проектируемых крупных напорных ПЭС в России и в мире.

Выводы

Страны мира в 21 веке, оказались перед дилеммой, нехарактерной в предыдущие столетия. За это время большинство проблем (таких как потребность в увеличении сельскохозяйственной продукции, оплата труда рабочих, транспорт, пенсии, школы и социальные услуги) были решены за счет увеличения инвестиций в технологии и энергетику. Во многих смыслах этот подход работал, поскольку многие из этих проблем были решены. Все это было возможно только потому, что существовало изобилие дешевой (т.е. с высоким EROI) высококачественной энергии, в основном нефти, газа, гидроэнергии. Но, приходится констатировать, что эра «дешёвой энергии» подходит к концу, а потребности в её использовании возрастают.

В ряде стран мира ветровая и фотоэлектрическая энергия рекламируются как имеющие существенные экологические преимущества. Однако эти преимущества могут иметь меньшую отдачу и больший первоначальный углеродный след, чем предполагалось изначально (например, внешние эффекты, связанные с добычей неодима и его последующим использованием в строительстве ветряных турбин). Затраты на электроэнергию, связанные с прерывистостью, и такие факторы, как нефть, природный газ и уголь, используемые при создании, транспортировке и реализации ветряных турбин и фотоэлектрических панелей, могут быть недостаточно представлены при анализе EROI. Также существенным является вопрос эксплуатационных издержек. Пока абсолютным лидером по показателю EROI является традиционная речная гидроэнергетика. Однако, с уверенностью можно сказать что приливная энергетика может занять достойное место среди альтернативных источников генерации с высокими показателями EROI.

Действующие и проектируемые крупные напорные ПЭС в России и в мире
The operating and projected large pressure TPP in Russia and in the world

ПЭС TPP	Название ПЭС (страна) TPP name (country)	Схемы использования Scheme of use	Мощность, МВт Power, Mw	Год пуска (проекта) Start-up year (of the project)	Макс. высота прилива, м Max. tide height, m	Способ сооружения Method of construction	Тип гидроагрегат фирма (количество), диаметр колеса, м Type of hydro aggregate, firm (quantity), diameter of the wheel, m
Действующие	Ранс (Франция) Rance (France)	Однобассейновая 2-стороннего действия с насосным режимом One basin of 2 double acting with a pump regime	240,0	1966	13,5	В перемычках In coffer dams	Капсульный «Нейрикс», (20), 5,35 Capsular «Neurix», (20), 5,35
	Кислогубская (Россия) Kyslogubskaya (Russia)	Однобассейновая 2-стороннего действия, с насосным режимом One basin of 2 double acting with a pump regime	1,7	1968	3,96	Наплавной Floating	Ортогон. горизонтальный, (1), 2,0 Orthogon horizontal, (1), 2,0 Ортогон. вертикальный, (1), 5 Orthogon vertical, (1), 5
	Цзянсянь (Китай) Jiangxian (China)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	3	1980	8,93	В перемычках In coffer dams	Капсульный, (5), 2,5 Capsular, (5), 2,5
	Аннаполис (Канада) Annapolis (Canada)	Одностороннего действия One basin, of single acting	20	1984	8,7	В перемычках In coffer dams	«Страфло», (1), 7,6 «Straflo», (1), 7,6
	Малая Мезенской (Россия) Malaya Mezenskaya (Russia)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	1,5	2007	3,96	Наплавной Floating	Ортогональный, (1), 5 Orthogonal, (1), 5
	Сихва (Южная Корея) Sihwa (South Korea)	Однобассейновая, одностороннего действия One basin, of single acting	254,0	2010	7,8	В перемычках In coffer dams	Капсульный, (10), 7,5 Capsular, (10), 7,5
	Северная (Россия) Severnaya (Russia)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	12(36*)	2012	4,2	Наплавной Floating	Ортогональный, (3) трехъярусные, 5 Orthogonal, (3) three tiered, 5
	Мезенская (Россия) Mezenskaya (Russia)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	8000,0	2008	10,0	наплавной floating	Ортогональный, (2000) Orthogonal, (2000)
	Тугурская (Россия) Tugurskaya (Russia)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	3600,0	(2008)	10,0	наплавной floating	Трехъярусные, 5 Three tiered, 5
	Сан-Хосе (Аргентина) San-Jose (Argentina)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	4000	2008	11,0	наплавной floating	Ортогональный, (1000) трехъярусные, 5 Orthogonal, (1000) three tiered, 5
Крупные проекты XXI века	Шозе (Франция) Shoze (France)	Однобассейновая 2-стороннего действия One basin of 2 double acting	4900	1978	14,0	наплавной floating	Капсульный, (600), 8 Capsular, (600), 8
	Северн (Англия) Severn (England)	Однобассейновая, одностороннего действия One basin, of single acting	8640	2010	8,7	наплавной floating	Капсульный, (192), 8,2 Capsular, (192), 8,2

Библиографический список

1. **Усачев И.Н.** 30 лет первой в мире приливной электростанции «Ранс» во Франции // «Гидротехническое строительство. – 1997. – № 7. – С. 43-45.
2. **Крылов А.П., Бакштанин А.М.** Новые концепции в развитии микро-гидроэнергетики. Гидравлика в напорных водах микро-ГЭС // Природообустройство. – 2017. – № 5. – С. 8-14.
3. Техническая реализация проекта Северной приливной электростанции в Баренцевом море / Бакштанин А.М., Крылов А.П., Матвеева Т.И. и др. // Природообустройство. – 2020. – № 5. – С. 59-67.
4. EROI of different fuels and the implications for society/Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh, Energy Policy, Volume 64, 2014, Pages 141-152, ISSN0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003856>)
5. **Murphy D.J.** and Hall C.A.S. (2010), Year in review – EROI or energy return on (energy) invested. Annals of the New York Academy of Sciences, 1185: 102-118. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x>
6. Водохозяйственные системы и водопользование: учебник / Бакштанин А.М., Беглярова Э.С., Бубер А.Л. [и др.]. – М: ИНФРА-М, 2019. – 452 с.
7. **Iñigo Capellán-Pérez, Carlos de Castro, Luis Javier Miguel González,** Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies, Energy Strategy Reviews, Volume 26,2019,100399, ISSN2211-467X. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100399>
8. **Кузнецов В.П., Усачев И.Н.** Трубопроводный транспорт водорода с ПЭС // Труды 2-й Междун. практ. конф. «Хранение и транспортировка жидких углеводородов». – М.: Изд. дом «Информация и Инвестиции», 2006. – С. 26-34
9. **Крылов А.П., Бакштанин А.М., Беглярова Э.С.** Экспериментальные исследования микро-ГЭС с сифонным водоподводом // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства: сб. тезисов докладов III Всероссийского научно-практ. семинара, Москва, 17 июня 2020 года. – М: МГСУ, 2020. – С. 97-98.
10. **Крылов А.П., Бакштанин А.М., Беглярова Э.С.** Экспериментальные исследования модельной и рабочей установки

References

1. **Usachev I.N.** 30 let pervoj v mire prilivnoj elektrostantsii «Rans» vo Frantsii // «Gidrotehničeskoe stroitelstvo. – 1997. – № 7. – S. 43-45.
2. **Krylov A.P., Bakshtanin A.M.** No-vye kontseptsii v razvitii mikro-gidroenergetiki. Gidravlika v napornyh vodovodah mikro-GES // Prirodoobustrojstvo. – 2017. – № 5. – S. 8-14.
3. Tehnicheskaya realizatsiya proekta Severnoj prilivnoj elektrostantsii v Barentsevom more / Bakshtanin A.M., Krylov A.P., Mateveeva T.I. i dr. // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 5. – S. 59-67.
4. EROI of different fuels and the implications for society/Charles A.S. Hall, Jessica G. Lambert, Stephen B. Balogh, Energy Policy, Volume 64, 2014, Pages 141-152, ISSN0301-4215, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.049>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003856>)
5. **Murphy D.J.** and Hall C.A.S. (2010), Year in review – EROI or energy return on (energy) invested. Annals of the New York Academy of Sciences, 1185: 102-118. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05282.x>
6. Vodohozyajstvennyye sistemy i vodopolzovanie: uchebnyk / Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S., Buber A.L. [i dr.]. – M: INFRA-M, 2019. – 452 s.
7. **Iñigo Capellán-Pérez, Carlos de Castro, Luis Javier Miguel González,** Dynamic Energy Return on Energy Investment (EROI) and material requirements in scenarios of global transition to renewable energies, Energy Strategy Reviews, Volume 26,2019,100399, ISSN2211-467X. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100399>
8. **Kuznetsov V.P., Usachev I.N.** Truboprovodny transport vodoroda s PES // Trudy 2-oy Mezhdun. prakt. konf. «Hranenie i transportirovka zhidkih uglevodorodov». – M.: Publishing House “Information and Investments”, 2006. – S. 26-34
9. **Krylov A.P., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S.** Experimentalnye issledovaniya modelnoj i rabochej ustanovki portativnoj mikro-GES s sifonnym vodopodvodom // Prirodoobustrojstvo. – 2020. – № 3. – S. 99-107.
10. **Krylov A.P., Bakshtanin A.M., Beglyarova E.S.** Experimentalnye issledovaniya mikro-GES s sifonnym vodopodvodom // Sovremennye problem gidravliki i gidrotehničeskogo stroitelstva: sb. tezisov dokladov III Vserossijskogo nauchno-praktičeskogo

портативной микро-ГЭС с сифонным водоподводом // Природообустройство. – 2020. – № 3. – С. 99-107.

11. Приливные электростанции / Бернштейн Л.Б., Силаков В.Н., Гельфер С.Л., и др. – М.: АО «Институт Гидропроект», 1994. – 296 с.

Критерии авторства

Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись. Бакштанин А.М., Крылов А.П., Беглярова Э.С. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию 15.03.2021 г.

Одобрена после рецензирования 05.04.2021 г.

Принята к публикации 22.04.2021 г.

seminara, Moskva, 17 iyunya 2020 goda. – M: MGSU, 2020. – S. 97-98.

11. Prilivnye elektrostantsii / Bernsh-tein L.B., Silakov V.N., Gelfer S.L. i dr. – M.: AO «Institut Hidroproekt», 1994. – 296 s.

Criteria of authorship

Bakshtanin A.M., Krylov A.P., Beglyarova E.S. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Bakshtanin A.M., Krylov A.P., Beglyarova E.S. have a copyright on the article and are responsible for plagiarism.

Conflict of interests

The authors state that there are no conflicts of interests

The article was submitted to the editorial office 15.03.2021

Approved after reviewing 05.04.2021

Accepted for publication 22.04.2021

Оригинальная статья

УДК 502/504:627.83:532.54:621.644

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-2-57-65

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВМЕЩЕНИЯ СОЛНЕЧНЫХ УСТАНОВОК С КОНСТРУКТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПРИРОДООХРАННЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И КОМПЛЕКСОВ

ЧЕРНЫХ ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА^{✉1}, канд. техн. наук, доцент
gtsmgup@mail.ru

БУРЛАЧЕНКО АЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА², канд. техн. наук, доцент
chtara@mail.ru

ВОЛШАНИК ВАЛЕРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ³, д-р техн. наук, профессор
tvg1806@gmail.com

¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, г. Москва, Тимирязевская ул., д. 49, Россия

² Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, 64, Россия

³ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26, Россия

Рассмотрены вопросы решения современных проблем, связанных с обеспечением энергетических потребностей природоохранной гидротехники. Сформулирована задача усовершенствования методологической основы выбора оптимального расположения элементов фотоэлектрических устройств (СФЭУ) на блоках приплотинного здания гидроэлектростанций (ГЭС) 4-х основных типов. Проанализированы графические зависимости оценки отношения мощностей совмещённых СФЭУ и ГЭС от диаметра рабочего колеса турбины. В результате анализа влияния места расположения трансформатора на возможность размещения СФЭУ на зданиях ГЭС выявлено, что для повышения приспособленности ревитализируемого даже крупного гидроузла с обособленным зданием ГЭС предпочтительно располагать силовые трансформаторы со стороны нижнего бьефа. Отмечено, что по результатам схематической