

Оригинальная статья

УДК 502/504: 621.644: 532.54

DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-104-110

## ОСОБЕННОСТИ ВОДНОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГЭС ПРИ СИМБИОЗЕ С ГЕЛИОУСТАНОВКАМИ

**ЧЕРНЫХ ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА** <sup>✉1</sup>, канд. техн. наук, профессор

gtsmgup@mail.ru

**БУРЛАЧЕНКО АЛЕНА ВЛАДИМИРОВНА** <sup>2</sup>, канд. техн. наук, доцент

chtara@mail.ru

**ВОЛШАНИК ВАЛЕРИЙ ВАЛЕНТИНОВИЧ** <sup>3</sup>, д-р техн. наук, профессор

tvg1806@gmail.com

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

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

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

*Представлены результаты анализа проблем, связанных с развитием мировой солнечной энергетики. Отмечено, что на современном этапе электроэнергетики потенциал возобновляемых источников энергии (ВИЭ) пока слабо реализован. Вычленены конкретные вопросы водноэнергетических режимов работы гидроэлектростанций (ГЭС), работающих в симбиозе с солнечными фотоэлектрическими установками (СФЭУ), график которых при этом должен быть единым. Показано, что работа ГЭС и СФЭУ в совместном графике электрической нагрузки позволяет получить конструктивный и экономический эффект за счет экономии топлива электростанций разного типа, в том числе тепловых. Максимальная мощность энергокомплекса ГЭС-СФЭУ оптимизируется установленной мощностью ГЭС при соблюдении полного дублирования мощности СФЭУ другими электростанциями энергосистемы. Показано на примере гидроузла Лагдо северного Камеруна, что в условиях развивающихся стран с большим солнечным и гидравлическим потенциалом (Камерун, Зимбабве, Уганда и др.), как и для южных регионов России, СФЭУ может дать в маловодный период года до 75% годовой выработки электроэнергии при совместной работе ее в энергокомплексе с ГЭС. Это позволяет облегчить перераспределение стока реки в течение всего периода межени без привлечения дополнительной полезной емкости водохранилища. Разработанная методика оптимизации водноэнергетического режима регулирования может быть применена и при работе ГЭС энергокомплекса ГЭС-СФЭУ по водотоку, то есть при суточном регулировании расходов.*

**Ключевые слова:** энергоэффективность, гидравлическая электростанция, солнечная фотоэлектрическая установка, режим работы энергокомплекса, водохранилище сезонного регулирования

**Формат цитирования:** Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волишаник В.В. Особенности водноэнергетических режимов ГЭС при симбиозе с гелиоустановками // Природообустройство. – 2021. – № 3. – С. 104-110. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-104-110.

© Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волишаник В.В., 2021

Original article

## SPECIFIC FEATURES OF WATER-ENERGY REGIMES OF HPP IN SYMBIOSIS WITH SOLAR PLANTS

**CHERNYH OLGA NIKOLAEVNA** <sup>✉1</sup>, candidate of technical sciences, professor

gtsmgup@mail.ru

**BURLACHENKO ALENA VLADIMIROVNA**<sup>2</sup>, candidate of technical sciences, associate professor  
chtara@mail.ru

**VOLSHANIK VALERIJ VALENTINOVICH**<sup>3</sup>, doctor of technical sciences, professor  
tvgl806@gmail.com

<sup>1</sup> Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev1; 127434, Moscow, Timiryazevskaya, 49. Russia

<sup>2</sup> Moscow automobile-road state technical university (MADI)2; 125319, Moscow, Leningradsky prospect, 64. Russia

<sup>3</sup> National research Moscow state university of civil engineering 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26. Russia

*The results of the analysis of the problems associated with the development of the world solar energy are presented. It is noted that at the present stage of the electric power industry, the potential of renewable energy sources (RES) is still poorly realized. The specific issues of water-energy modes of operation of hydroelectric power plants (HPPs), operating in symbiosis with solar photovoltaic installations (SPEU) have been identified, the schedule of which should be the same. It is shown that the operation of hydroelectric power plants and SPEU in the joint electric load schedule makes it possible to obtain a constructive and economic effect due to the fuel saving of power plants of various types, including thermal ones. The maximum capacity of the HPP-SPEU power complex is optimized by the installed capacity of the HPP while observing the full duplication of the SPEU capacity by other power plants of the energy system. It is shown on the example of the Lagdo hydroelectric complex in the northern Cameroon that under the conditions of developing countries with a large solar and hydraulic potential (Cameroon, Zimbabwe, Uganda, etc.), as well as for the southern regions of Russia, SPEU can produce up to 75% of the annual electricity generation during the low-water period of the year at its joint work in the energy complex with the hydroelectric power plant. This makes it possible to facilitate the redistribution of the river flow during the entire low-water period without attracting additional useful storage capacity of the reservoir. The developed methodology for optimizing the water-energy regulation regime can also be applied during the operation of the HPP of the HPP-SPEU energy complex along the watercourse, i.e. with daily flow regulation.*

**Keywords:** energy efficiency, hydraulic power plant, solar photovoltaic plant, operating mode of power complex, reservoir of seasonal regulation

**Format of citation:** Chernyh O.N., Burlachenko A.V., Volshanik V.V. Specific features of water-energy regimes of HPP in symbiosis with solar plants // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 3 – S. 104-110. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-3-104-110.

**Введение.** На долю гидроэнергетики в мире приходится около 90% всех используемых сегодня возобновляемых источников энергии. Технический потенциал гидроэнергии составляет 14000 ТВтч в год. По экономическому гидроэнергетическому потенциалу (850 млрд кВтч/г) Россия занимает второе место в мире после Китая. По установленной мощности гидроагрегатов (около 48 ГВт) и по выработке электроэнергии на гидроэлектростанциях (около 170 млрд кВтч/г) Россия занимает пятое место в мире. В настоящее время освоено около 20% имеющегося гидроэнергетического потенциала России [1]. Степень износа оборудования многих гидроэлектростанций (ГЭС) РФ составляет 40...70% ввиду недофинансирования этой отрасли. Сейчас компанией «РусГидро» и рядом частных компаний, в том числе зарубежных, с участием региональных администраций разрабатываются программы освоения малых гидроэнергетических ресурсов в различных районах России: например,

на Северном Кавказе (в Дагестане, Северной Осетии, Кабардино-Балкарии), где запланировано в течение ближайших двух-трех лет восстановить приостановленные и создать десятки новых малых энергоблоков суммарной мощностью более 100 МВт.

Если говорить в целом о современном использовании «зеленой» энергии в России, то в настоящее время отмечается динамичное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) на юге РФ. В общей структуре отпущенной в сеть доля «зеленой» энергетики составляет 7%. Наибольший объем «зеленой» энергии за первые 2 месяца 2021 г. выдали ВИЭ Ростовской области (267,3 млн кВтч) и Республики Калмыкия (53,4 млн кВтч), что эквивалентно потреблению крупного промышленного предприятия в течение года. Например, только в Астраханской области за последние четыре года введены в эксплуатацию 13 солнечных электростанций (СЭС) общей мощностью 285,2 МВт. Самая крупная на территории России фотоэлектрическая установка

располагается именно на Юге («Перово», Республика Крым), установленная мощность которой составляет 105 МВт 560 кВт, что несколько больше, чем у запущенной в эксплуатацию в 2020 г. Старомарьевской СЭС в Ставропольском крае (100 МВт). Второе место по установленной мощности СЭС занимает Приволжский федеральный округ (464,5 МВт), а третье место – Сибирский федеральный округ (128 МВт).

Важной вехой в развитии потенциала гибридной гидро-солнечной генерации в России стала реализация первой плавучей СЭС, испытанной и запущенной в эксплуатацию в 2020 г. в Дагестане (рис. 1а), основанной на отечественных технологиях и компетенциях. Ее создание потребовало

применения принципиально новых решений: аэраторы для очистки воды приводятся в действие благодаря автономной солнечной генерации мощностью 7 кВт, размещенной на плавучем острове, а «умная технология управления» позволяет управлять системой с телефона. В этой республике и дальше продолжается разработка проектов малых ГЭС с использованием поверхности водных объектов для размещения плавучей солнечной генерации. Для сравнения: в Южной Корее скоро построят гигантскую плавучую СЭС мощностью 2,1 ГВт, которая займет площадь 30 км<sup>2</sup> водной поверхности и станет крупнейшей в мире. Ранее рекорд принадлежал китайской надводной станции мощностью 150 МВт.



а



б

Рис. 1. Первые наплавные СЭС РФ, 2020 г.:

а – на водоеме Ак-Гель в Махачкале; б – на водохранилище Нижне-Бурейской ГЭС

Fig. 1. First floating SES of RF, 2020:

а – on the Ak-Gel basin in Makhachkala; б – on the reservoir of the Nizhne-Burejskoy HPP

На водохранилище Нижне-Бурейской ГЭС в Амурской области, входящей в «РусГидро», смонтирована первая в России мобильная наплавная СЭС (рис. 1б), представляющая собой понтонный модуль с 140 фотоэлементами, общей площадью 475 м<sup>2</sup> и мощностью 54 кВт. СЭС предназначена для обеспечения электроэнергией собственных нужд ГЭС, причем в декабре 2019 г. на пристанционной площадке ГЭС уже были смонтированы экспериментальные солнечные панели общей мощностью 1275 кВт (рис. 2). СЭС проходит тест в режимах как автономной работы, так и совместной эксплуатации с ГЭС и резервными дизель-генераторами. Солнечные элементы нового поколения с КПД ячейки более 23% вырабатывают на 20% больше электроэнергии, чем традиционные модули из поликристаллического кремния, как при высоких,

так и при низких температурах. Солнечные модули размещены на стационарной площадке ГЭС с учетом максимальной солнечной активности. Снижение затрат электроэнергии на собственные нужды ГЭС позволяет увеличить полезный отпуск электроэнергии и повысить эффективность работы ГЭС.

**Материалы и методы.** Изучение аккумулялирующих и регулирующих возможностей водохранилищ ГЭС при проектировании водноэнергетических режимов гидравлических станций, работающих совместно с СФЭУ, является необходимым и важным этапом при оценке энергоэффективности их совместной работы. При этом должен быть решен вопрос об оптимальном использовании энергии, вырабатываемой гелиоустановкой, с учетом регулирующих возможностей ГЭС. Здесь необходимо учитывать, с одной стороны, прогнозируемость распределения во времени

энергоресурса СФЭУ, а с другой стороны – возможность аккумулирования сэкономленной

ГЭС энергии за счет перераспределения в водохранилище стока реки [2, 3].



Рис. 2. Гибридная генерация гелиоустановок с использованием существующей сетевой инфраструктуры на Нижне-Бурейской ГЭС

Fig. 2. Hybrid generation of helio installations using the existing network infrastructure at the Nizhne-Burejskoj HPP

Мощность СФЭУ должна дублироваться мощностью других электростанций, поскольку циклы работы гелиоустановки обычно не совпадают как с сезонными, так и с суточными изменениями в объеме потребной системной электронагрузки. Дублирование целесообразно предусматривать мощностью ГЭС, совместно работающей с СФЭУ, так как при этом ГЭС может обеспечивать перераспределение собственной выработки от суток до года за счет аккумулирования воды в водохранилище или бассейне. В зависимости от регулирующих возможностей водохранилища, в частности, его полезной емкости, глубина согласования режимов работы комплекса ГЭС-СФЭУ может быть различной.

Особенности совместной работы и изменения водноэнергетических режимов симбиоза ГЭС-СФЭУ рассмотрим на энергокомплексе, типизированном для территорий, обладающих богатым гидравлическим и солнечным потенциалом, характерным для многих развивающихся стран (Камерун, Зимбабве, Замбия, Уганда, Индия, Иордания, Ливан и др.), а также для Южного федерального округа России с интенсифицированным в настоящее время развитием мелиорации АПК, Северного Кавказа и ряда других сопредельных дружественных стран и республик [5, 8-10].

Ранее [6, 7] обоснование эффективности конструктивного и энергетического симбиоза было показано для энергокомплекса Лагдо в северном Камеруне, в состав которого

предполагалось включить ГЭС с установленной мощностью 72 МВт и гелиоустановки суммарной мощностью 5 МВт, с годовой выработкой электроэнергии: соответственно ГЭС –  $322 \cdot 10^6$  кВтч/г, СФЭУ –  $7,5 \cdot 10^6$  кВтч/г. Для таких природоохранных гидроузлов приемлемы две рабочие схемы: работа при наличии водохранилища сезонного регулирования стока и при работе ГЭС по водотоку [1, 3, 5].

**Результаты и обсуждение.** При наличии водохранилища сезонного регулирования ежегодно уровень воды в нем снижается до УМО в конце межени и поднимается до НПУ в половодье. В этот период можно рекомендовать следующий режим работы энергокомплекса ГЭС-СФЭУ: в начале межени, когда расходы и уровни в ВБ являются высокими, выработка ГЭС в течение каждых суток уменьшается на ту величину, которую дает гелиоустановка. Таким образом, на ГЭС получаем постоянно нарастающую экономию стока реки, который аккумулируется в водохранилище. В связи с тем, что этот процесс происходит при его сработке, он не требует увеличения полезного объема, следовательно, не требует и дополнительных капиталовложений в ГЭС.

Таким образом, работа СФЭУ позволяет при сохранении суточной выработки провести более медленную сработку в начале межени. Запасенный объем воды используется в конце межени путем более быстрой сработки водохранилища. Эффект

достигается как за счет роста средневзвешенного напора ГЭС ввиду более медленной сработки водохранилища в начале межени, так и за счет увеличения среднесуточных мощностей ГЭС в конце межени.

Анализ возможных режимов работы ГЭС в энергосистеме к концу межени показывает, что сезонное перераспределение выработки СФЭУ позволяет повысить как максимальную мощность ( $N$ ), так и выработку ГЭС в этот маловодный период: обеспеченность гарантированной отдачи ГЭС ( $P$ ) может возрасти для условий ГЭС Лагдо с 70 до 90%, а гарантированная отдача ГЭС при сохранении обеспеченности  $P$  – с 20 до 25 МВт (рис. 3) [3].

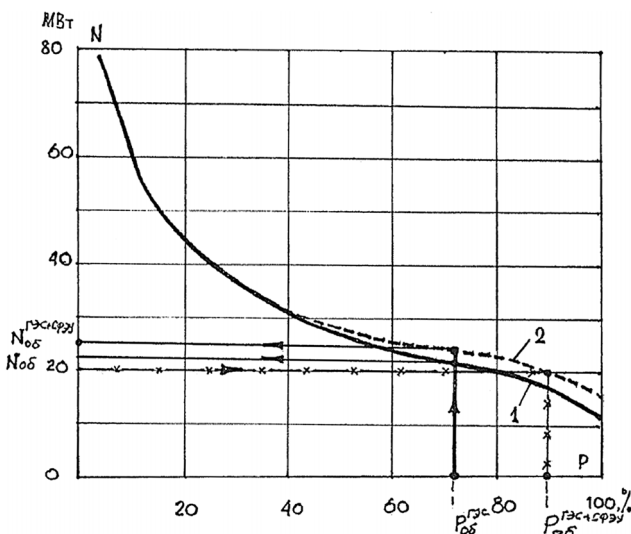


Рис. 3. Графическая зависимость  $N = f(P)$ :

- 1 – при отдельной работе ГЭС;
- 2 – при работе комплекса ГЭС-СФЭУ

Fig. 3. Graphic dependence  $N = f(P)$ :

- 1 – in separate work of hydroelectric power plants;
- 2 – at the operation of the hydroelectric power plant-SPEU complex

К концу межени обычно интенсивность солнечной активности снижается, что практически полностью может быть компенсировано наличием в водотоке в этот период значительных расходов. Более ощутимое влияние СФЭУ может сказаться в маловодные годы, когда за счет дополнительной выработки СФЭУ уменьшаются расходы потребления ГЭС, поступающие в НБ. В результате происходит более быстрое наполнение водохранилища. Так, при отношении  $N^{СФЭУ} / N^{ГЭС} = 0,07$  работа СФЭУ за период половодья позволяет запасти около 13% полезного объема водохранилища.

Оптимизация режима сработки водохранилища в межень при симбиозе ГЭС и СФЭУ

позволяет установить не только режим, но и время сработки дополнительного объема воды, который аккумулируется в водохранилище за период межени. С использованием метода динамического программирования в результате оптимизации был проанализирован ход оптимального изменения отметки ВБ до уровня «мертвого» объема (УМО) [3]. Критерием являлся максимум функционала

$$\mathcal{E} = \int_0^T N \cdot dt = \max,$$

где  $\mathcal{E}$  – выработка электроэнергии за счет сработки дополнительного объема воды, накопленной в результате работы СФЭУ;  $N$  – среднесуточная мощность ГЭС по водотоку;  $T$  – время сработки.

С учетом того, что значение среднесуточной  $N$  зависит от режима сработки водохранилища и в заданной постановке задачи действует ограничение отметок ВБ, определяемое режимом минимальной сработки при учете работы СФЭУ, была построена расчетная сетка разбивки, показывающая возможные режимы сработки водохранилища в течение трех последних месяцев межени для условий ГЭС Лагдо (рис. 4).

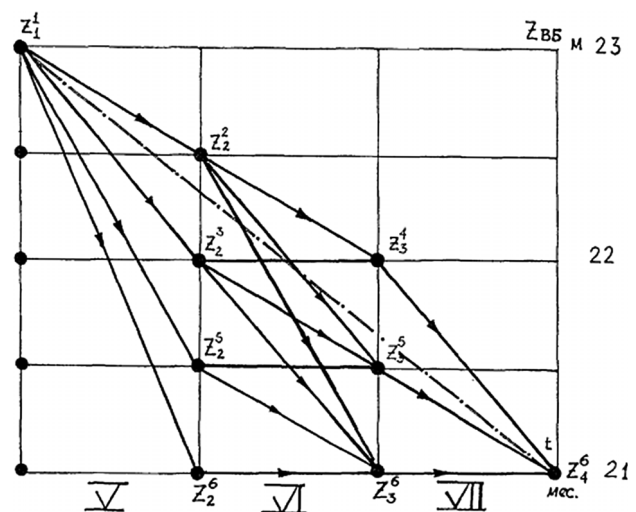


Рис. 4. Расчетная сетка разбивки возможных режимов сработки водохранилища для нахождения абсолютного оптимума

Fig. 4. Computational breakdown grid of possible reservoir working modes to find the absolute optimum

Установлено, что выработка электроэнергии за первые два расчетных месяца зависит в равной мере от уровней в водохранилище на конец первого месяца (переменные  $Z_2^1; Z_2^2; Z_2^3; Z_2^4; Z_2^6$ ) и на конец второго месяца ( $Z_3^1; Z_3^2; Z_3^3; Z_3^4; Z_3^5; Z_3^6$ ). Значения отметок

ВВ в конце соответственного первого и второго месяцев, определенные с использованием рисунка 4, обеспечивают локальные максимумы выработки  $\mathcal{E}^{\text{опт}}_{1+2}$ . Сработка водохранилища до УМО происходит в конце третьего месяца, чему соответствует точка  $Z^6_4$ . Абсолютный оптимум представлен в виде

графической зависимости на рисунке 5. По ней определяется максимально возможная выработка за три месяца  $\mathcal{E}^{\text{опт}}_{1+2+3}$ . Двигаясь по стрелке навстречу времени, то есть обратным ходом, по ней можно определить оптимальный режим сработки водохранилища [3].

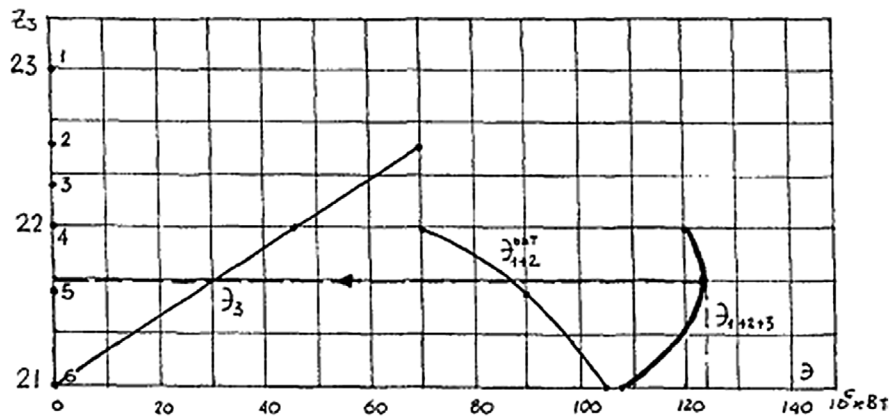


Рис. 5. Зависимости выработки электроэнергии от уровней в водохранилище:  
 $\mathcal{E}$  – оптимальные значения за расчетные месяцы  
 $(\mathcal{E}^{1+2}$  – за два первых;  $\mathcal{E}^3$  – за третий месяц;  $\mathcal{E}^{1+2+3}$  – за три месяца)

Fig. 5. Dependence of electricity generation from the levels in the reservoir:

$E$  – optimal values for the calculated months:  
 $\mathcal{E}^{1+2}$  – for the first two months;  $E^3$  – for the third month;  $\mathcal{E}^{1+2+3}$  – for three months

### Выводы

Установленная мощность ГЭС является определяющей для получения максимальной мощности энергокомплекса ГЭС-СФЭУ при соблюдении условия полного дублирования мощности гелиоустановок другими электростанциями энергосистемы (тепловыми или гидравлическими малыми либо мини-ГЭС, дизель-генераторами и пр.). Симбиоз ГЭС с гелиоустановками, приводящий к экономии топлива тепловых станций, дает неоспоримый экономический эффект. Для условий развивающихся

стран (Камерун, Зимбабве и др.) СФЭУ может дать до 75% годовой выработки электроэнергии в маловодный (сухой) период года, что существенно облегчает для ГЭС условия перераспределения стока в течение межени и не требует дополнительной полезной емкости водохранилища. Используя методику оптимизации режима сезонного регулирования ГЭС, можно оценить дополнительную величину максимальной выработки энергии при конструктивном симбиозе ГЭС и СФЭУ в границах одного природоохранного гидроузла.

### Библиографический список

1. Елистратов В.В. Мониторинг развития возобновляемой энергетики в мире и в России. – М.: Изд-во Института народнохозяйственного прогнозирования РАН, 2008. – 70 с.
2. Экологические проблемы использования возобновляющихся источников энергии / В.В. Волшаник, А.Г. Пешнин, Хаманджода Умару Г.Н. Щенникова // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 108-119.
3. Умару Хаманджода. Обоснование эффективности энергетического и конструктивного совмещения гидроэлектростанций с солнечными фотоэлектрическими установками: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1996. – 18 с.

### References

1. Elistratov V.V. Monitoring razvitiya vozobnovlyaemoj energii v mire i v Rossii. – M.: Izd. Instituta narodnohozyajstvennogo prognozirovaniya RAN, 2008. – 70 s.
2. Ekologicheskie problemy ispolzovaniya vozobnovlyayushchihsya istochnikov energii / Volshanik V.V., Peshnin A.G., Umaru Hamandzhoda i dr. // Vetsnik MGSU. – 2010. – № 4. – S. 108-119.
3. Umaru Hamanjoda. Obosnovanie effektivnosti energeticheskogo i konstruktivnogo sovmeshcheniya gidroelectrostantsij s solnechnymi fotoelectrichestskimi ustanovkami: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.14.10. – M.: 1996. – 18 s.

4. Проблема экономической оценки теплового загрязнения атмосферы объектами электроэнергетики / В.В. Волшаник, А.Г. Пешнин, Хаманджода Умару, и др. // Вестник МГСУ. – 2009. – № 1. – С. 198-207.

5. Справочные данные по гидроэлектростанциям мира. Гидроэлектростанции стран Африки, Филиппин, Индонезии, Австралии, Новой Зеландии и Океании. – М.: Гидропроект, 1986. – 340 с.

6. Конструктивное и технологическое совмещение гидравлических и солнечных электростанций / В.В. Волшаник, О.Н. Черных, У. Хаманджода и др. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2019 году: Сб. научных трудов РААСН. Т. 2. – М.: Изд-во АСВ, 2020. – С. 152-157.

7. **Черных О.Н., Волшаник В.В., Бурлаченко А.В.** Особенности использования элементов сооружений гидроузлов комплексного назначения совместно с солнечными фотоэлектрическими установками // Природообустройство. – 2021. – № 1. – С. 63-73.

8. **Энтони Тертон, Алан Николь, Тони Алан** и др. Варианты политических решений для стран с дефицитом воды: уроки, извлеченные из опыта ближневосточных и южноафриканских стран. – Ташкент: Научно-информационный центр МКВК, 2011. – 94 с.

9. **Рахнов О.Е.** Экологическая эффективность локальных источников энергии (на примере плоских солнечных коллекторов): Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2009. – 24 с.

10. **Хандам Ахмед Халиль.** Оценка ресурсов возобновляемых источников энергии Иордании: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 2011. – 24 с.

#### Критерии авторства

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волшаник В.В. выполнили теоретические исследования, на основании которых провели обобщение и написали рукопись.

Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волшаник В.В. имеют на статью авторское право и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов

Статья поступила в редакцию: 08.04.2021

Одобрена после рецензирования 12.05.2021 г.

Принята к публикации 05.06.2021 г.

4. Problema ekonmicheskoj otsenki teplovogo zogryazneniya atmosfery objektami elektroenergetiki / Volshanik V.V., Peshnin A.G., Umaru Hamandzhoda u dr. // Vestnik MGSU. – 2009. – No. 1. – S. 198-207.

5. Spravochnye dannye po gidroelektrostantsiyam mira. Hidroelektrostantsii stran Afriki, Filipin, Indonezii, Avstralii, Novoj Zelandii i Okeanii. – M.: Hidroproekt, 1986. – 340 s.

6. Konstruktivnoe i tehnologicheskoe совмещение гидравлических и солнечных электростанций / Volshanik V.V., Chernykh O.N., Hamanjoda U. i dr. // Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoj otrasli Rossijskoj Federatsii v 2019 godu: sb. nauch. tr. RAASN t. 2. – M.: Izd-vo ASV, 2020. – S. 152-157.

7. **Chernykh O.N., Volshanik V.V., Burlachenko A.V.** Osobennosti ispolzovaniya elementov sooruzhenij gidrouzlov kompleksnogo naznacheniya sovместно s solnechnymi fotoelektricheskimi ustanovkami // Prirodobustrojstvo. – 2021. – No. 1. – S. 63-73.

8. **Anthony Turton, Alan Nicole, Tony Alan et al.** Policy Options for Water Scarcity Countries: Lessons Learned from the Middle East and South African Countries. – Tashkent: Scientific Information Center ICWC, 2011. – 94 p.

9. **Rakhnov O.E.** Ekologicheskaya effektivnost lokalnyh istochnikov energii (na primere ploskih solnechnyh kollektorov): Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 25.00.36. M.: – 2009. 24 s.

10. **Khandam Ahmed Khalil.** Otsenka resursov vozobnovlyaemyh istochnikov energii Ioradanii: Avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.14.08. – M.: 2011. – 24 s.

#### Criteria of authorship

Chrenyh O.N., Burlachenko A.V., Volshanik V.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript.

Chrenyh O.N., Burlachenko A.V., Volshanik V.V. 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 08.04.2021

Approved after reviewing 12.05.2021

Accepted for publication 05.06.2021