

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**<sup>✉1</sup>, канд. техн. наук, доцент

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

tvgl806@gmail.com

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

*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*

проработки для средненапорного гидроузла Лагдо на севере Камеруна размещение солнечных элементов позволит обеспечить дополнительно 6,95% от мощности действующей ГЭС.

**Ключевые слова:** тип здания гидравлической электростанции, относительная мощность совмещённой солнечной фотоэлектрической установки, рабочее колесо турбины, повышение эффективности совмещения гидростанции с солнечными установками

**Формат цитирования:** Черных О.Н., Бурлаченко А.В., Волшаник В.В. Перспективы совмещения солнечных установок с конструктивными элементами природоохранных гидротехнических сооружений и комплексов // Природообустройство. – 2021. – № 2. – С. 57-65. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-2-57-65.

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

Original article

## PROSPECTS FOR COMBINING SOLAR PLANTS WITH STRUCTURAL ELEMENTS OF ENVIRONMENTAL HYDRAULIC FACILITIES AND COMPLEXES

**CHERNYH OLGA NIKOLAEVNA**<sup>✉1</sup>, candidate of technical sciences, associate 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  
tvg1806@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 engineerin; 129337, Moscow, Yaroslavskoe shosse, 26. Russia

*The issues of solving modern problems related to meeting the energy needs of environmental hydraulic engineering are considered. The problem of improving the methodological basis for choosing the optimal arrangement of elements of photovoltaic devices (SPEU) on the blocks of the dam building of hydroelectric power plants (HPP) of 4 main types is formulated. The graphical dependences of the estimation of the power ratio of the combined SPEU and HPP on the diameter of the turbine wheel are analyzed. As a result of the analysis of the influence of the location of the transformer on the possibility of placing the SPEU on the buildings of the hydroelectric power station, it was revealed that in order to increase the adaptability of the revitalized even large hydro system with a separate building of the hydroelectric power station, it is preferable to place power transformers from the downstream side. It is noted that according to the results of the schematic study for the medium-pressure hydroelectric complex Lagdo in the north of Cameroon, the placement of solar cells will provide an additional 6.95% of the capacity of the operating hydroelectric power station.*

**Keywords:** building type of hydraulic power plant, relative power of the combined solar photovoltaic plant, turbine impeller, increase of the efficiency of combining the hydroelectric power plant with solar plants

**Format of citation:** Chernyh O.N., Burlachenko A.V., Volshanik V.V. Prospects for combining solar plants with structural elements of environmental hydraulic facilities and complexes // Prirodoobustrojstvo. – 2021. – № 2. – S. 57-65. С. 1-5. DOI: 10.26897/1997-6011/2021-2-57-65.

**Введение.** Последние три десятилетия в мировой энергетике большое внимание уделяется изменению структуры потребляемых первичных источников энергогенерации, использованию возобновляемых источников энергии (ВИЭ), строительству малых гидроэлектростанций (ГЭС) и развитию малой

гидроэнергетики в районах с дефицитом электроэнергии, в частности, в развивающихся странах, поскольку именно они располагаются в тёплом поясе Земли с интенсивной солнечной инсоляцией. При этом, по прогнозам МИРЭС (Международного института развития энергетического строительства), рост ввода мощностей на базе ВИЭ в мире составит соответственно для малых и микро ГЭС в 2020 г. 200 МВт, в 2030 г. – 500 МВт, для ветряных станций (ВЭС) – 1000 МВт и 5000 МВт, солнечных станций (СЭС) – 50 и 1000 МВт, геотермальных ЭС – 1000 и 5000 МВт, биомассы – 500 и 1500 МВт [1, 2].

Перспективы солнечной энергии, хотя и оцениваются мировым энергосообществом как значительные, но, например, при электрификации Чёрной Африки начали применяться только в последние годы, где люди во многих деревнях, а нередко и в пригородах, живут без электричества, так как им нечем платить за электроэнергию даже для личных нужд. Ряд компаний пытается решить эту проблему для частных локальных потребителей. Например, корейская Yolk внедряет портативную фотоэлектрическую установку Solar Cow в удалённых деревнях Кении и Танзании, швейцарская MPower Ventures запустила кампанию по микроинвестированию на австрийской платформе краудлендинга Crowd4Climate в Замбии и планирует обеспечить солнечной энергией рынки Намибии, Ганы, Камеруна, а в перспективе – Конго, Анголы и Зимбабве [3, 4]. Но полностью покрыть дефицит энергии для сельского хозяйства в этих странах таким путём в современных условиях нельзя. В России Минэнерго предлагает построить в 2025-2035 гг. около 5 ГВт «зелёной» генерации за 400 млрд руб.: 240,5 млрд руб. на строительство ВЭС; 129,5 млрд руб. – СЭС; 30 млрд руб. – для малых ГЭС, что правда, вдвое меньше ожиданий инвесторов.

Несмотря на то, что доля «зелёной» энергетики в мире растёт и сокращаются потери энергии при передаче на большие расстояния, представляется одним из наиболее целесообразных решений проблем улучшения электроснабжения конструктивное совмещение гидротехнических сооружений (ГТС) гидроузлов комплексного назначения, имеющих ГЭС, с солнечными фотоэлектрическими установками (СФЭУ) [4, 5]. Однако устройство СФЭУ сопровождается

затенением панелями солнечных элементов значительных площадей территорий, которые практически полностью выводятся из сельскохозяйственного оборота и с трудом могут быть освоены другими пользователями [6], что частично и сдерживает использование этого экологически чистого источника энергии в большом объёме.

Особенности размещения основного оборудования на ГТС средних, и главным образом малых ГЭС, таковы, что они вынуждают иметь технологически необходимые, но внешне «лишние» площади, которые как раз и могут быть пригодными для размещения солнечных элементов. Наличие таких площадей обуславливает более низкую экономическую эффективность малых ГЭС по сравнению с крупными, но это, с другой стороны, благоприятствует конструктивному совмещению малых ГЭС с СФЭУ и может привести в целом к повышению эффективности ГЭС [7].

Таким образом, снижение эффективности малых ГЭС, часто обусловленное «внутренними» проблемами их конструкций, может быть уменьшено путём конструктивного совмещения со станцией, использующей другой источник энергии. При этом необходимо учитывать, что влияние диаметра рабочего колеса турбины  $D_1$  как на возможность расположения солнечных элементов, так и на целесообразность энергетического совмещения ГЭС и СФЭУ, весьма велико. Это наиболее ярко проявляется именно при относительно небольших значениях диаметра  $D_1$  [7].

#### Материалы и методы исследований.

Для оценки влияния типа здания ГЭС и особенностей применения солнечной фотоэнергетики на базе ГЭС был выполнен анализ их совместимости, использующий данные ряда наземных ГЭС разного типа и мощности для условий Камеруна [6] и Зимбабве [5, 7]. При этом основными исходными параметрами являлись: тип здания ГЭС (табл. 1); расположение трансформатора; уровни в верхнем и нижнем бьефах гидроузла (соответственно ВБ и НБ); напор ( $H$ ) и диаметр рабочего колеса турбины ( $D_1$ ) (рис. 1); мощность ГЭС ( $N_{ГЭС}$ ) и СФЭУ ( $N_{СФЭУ}$ ). Ориентация здания ГЭС относительно сторон света условно принималась одинаковой.

Обозначения типов зданий ГЭС в таблице 1, в тексте и на рисунках являются одинаковыми.

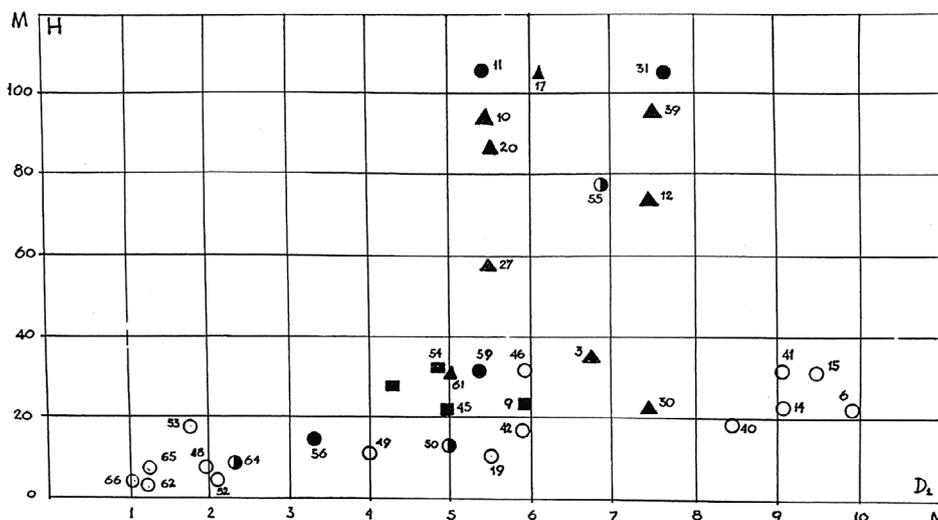
Таблица 1

## Типы зданий ГЭС рассмотренных гидроузлов

Table 1

## Types of HPP buildings of the considered hydraulic plants

№ п/п	Тип здания ГЭС <i>Type of HPP building</i>	Подтип здания ГЭС <i>Subtype of HPP building</i>	Обозначение типов здания ГЭС <i>Designation of the types of HPP building</i>
1	Русловое здание ГЭС с горизонтальными капсульными агрегатами <i>The channel HPP building with horizontal capsule units</i>	1а – не совмещённое <i>- not combined</i>	□
		1б – совмещённое с поверхностным водосливом <i>- combined with surface spillway</i>	■
2	Русловое здание ГЭС с вертикальными гидроагрегатами <i>The channel HPP building with vertical hydraulic aggregates</i>	2а – не совмещённое (или совмещённое с донными водосбросами) с трансформаторами со стороны ВВ <i>- not combined (or combined with bottom spillway) with transformers from the Upstream side</i>	△
		2б – не совмещённое (или совмещённое с донными водосбросами) с трансформаторами со стороны НБ <i>- not combined (or combined with bottom spillway) with transformers from the Downstream side</i>	○
		2в – совмещённое с поверхностным водосливом <i>- combined with the surface spillway</i>	●
3	Приплотинные здания ГЭС с бетонными плотинами <i>Dam buildings of hydroelectric power plants with concrete dams</i>	3а – с трансформаторами со стороны ВВ <i>- with transformers from the Upstream side</i>	◐
		3б – с трансформаторами со стороны НБ <i>3б – with transformers from the Downstream side</i>	▲
4	Приплотинные здания ГЭС с грунтовыми или арочными плотинами и здания деривационных ГЭС <i>Dam buildings of hydroelectric power plants with soil or arch dams and buildings of diversion power plants</i>	4а – с трансформаторами со стороны ВВ <i>- with transformers from the Upstream side</i>	□
		4б – с трансформаторами со стороны НБ <i>- with transformers from the Downstream side</i>	■

Рис. 1. Расположение основных точек проанализированных типов зданий ГЭС в поле ( $H-D_1$ )Fig. 1. Location of the main points of the analyzed types of hydropower plant buildings in the field ( $H-D_1$ )

**Результаты и обсуждение.** Анализ полученных предварительных результатов по оценке целесообразности энергетического совмещения ГЭС и СФЭУ природоохранных гидроузлов с использованием гидроаккумулирования для трансформации выработки энергии экологически чистых возобновляющихся источников (ВИЭ), выполненный на основании случайной выборки из 70 ГЭС различных типов и мощностей в регионах с дефицитом электроэнергии, показал [3, 5, 6, 8], что на мощных и сверхмощных ГЭС компоновка сооружений и оборудования является наиболее экономичной. Здесь имеются все возможности для отказа от «лишних» площадей. Поэтому, несмотря на абсолютно большие площади поверхностей, их относительные размеры невелики. Следовательно, будет мало и отношение мощностей совмещенной СФЭУ к мощности ГЭС.

При проектировании мощной ГЭС обычно ставится задача обеспечить оптимальные размеры и конструктивные решения сооружений и оборудования. Строительство таких ГЭС обходится весьма дорого, поэтому не приходится ожидать, что в целях получения относительно незначительной прибавки к мощности и выработке СФЭУ будут приняты такие изменения проекта, которые бы способствовали совмещению высоконапорной ГЭС с СФЭУ. При этом конструкции последней должны быть приспособлены к конструкции здания ГЭС.

При оценке возможности расположения СФЭУ на русловом здании ГЭС разной типологии также было установлено, что независимо от типа здания наземной ГЭС имеет место четкая зависимость: с уменьшением

диаметра рабочего колеса относительная площадь поверхностей, пригодных для размещения солнечных элементов, увеличивается [8]. В зданиях типа 2б имеются достаточные площади для размещения солнечных элементов при диаметрах рабочего колеса турбины до 2 м. Именно такого типа здания ГЭС из рассмотренной выборки чаще всего принимаются на малых ГЭС, причем при диаметрах рабочего колеса около 4...5 м здания различных типов обладают примерно равной «приспособленностью» к совмещению с СФЭУ. На крупных ГЭС с рабочими колёсами диаметром более 5 м возможностью к конструктивному совмещению обладают здания приплотинных ГЭС с грунтовыми плотинами и здания деривационных ГЭС с трансформаторами со стороны нижнего бьефа (тип 4б). «Приспособленность» к совмещению зданий мощных ГЭС других типов в 2...3 раза ниже.

Влияние места расположения трансформаторов на наличие площадей, пригодных для размещения солнечных элементов, наиболее заметно на русловых несомещенных зданиях ГЭС (типы 1а, 2а и 2б). На приплотинных зданиях ГЭС с бетонными плотинами (тип 3) такое влияние практически отсутствует (рис. 2). В целом для конструктивного совмещения всё же немного более предпочтительно размещение трансформаторов со стороны нижнего бьефа от силового здания.

Поскольку мощность совмещенной СФЭУ пропорциональна площади солнечных элементов, а мощность совмещаемой ГЭС пропорциональна диаметру рабочего колеса турбины, то форма кривых ( $N_{СФЭУ}/N_{ГЭС} = f(D_1)$ ) (рис. 3) идентична форме кривых зависимости  $F = f(D_1)$  [8].

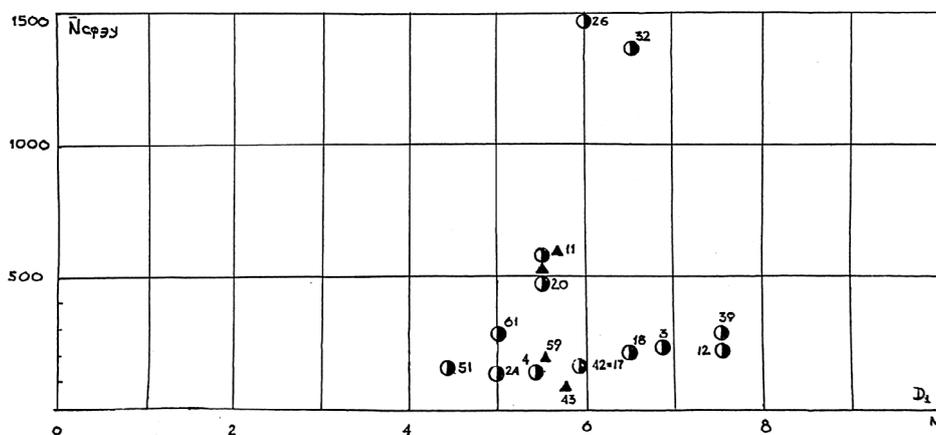


Рис. 2. К оценке влияния места расположения трансформатора на возможность размещения СФЭУ на приплотинных зданиях ГЭС

Fig. 2. To assess the impact of the location of the transformer on the possibility of placing SFEU on the HPP buildings

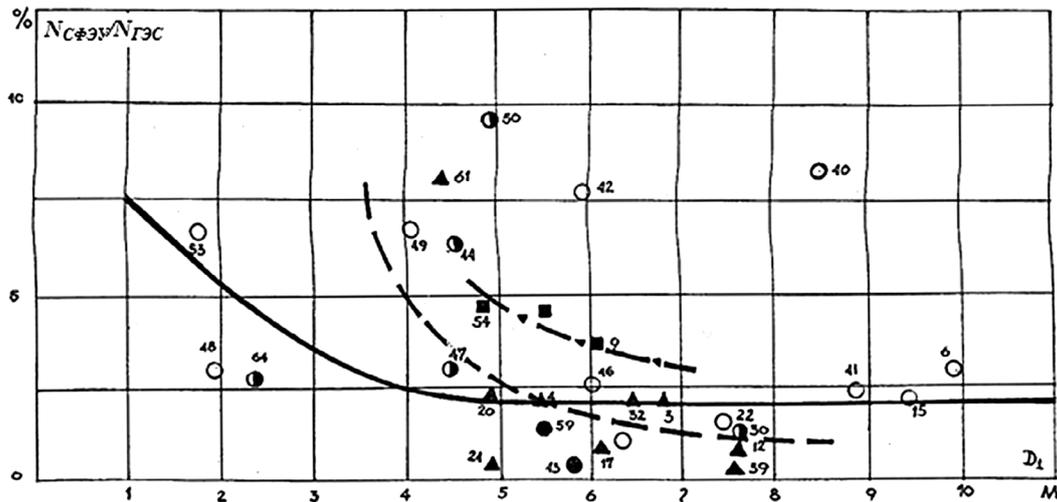


Рис. 3. Зависимости отношения мощности совмещенных СФЭУ и ГЭС ( $N_{СФЭУ}/N_{ГЭС}$ ) от диаметра рабочего колеса турбины ( $D_1$ )

Fig. 3. Dependence of the power relationship between the combined SFEU and hydropower plants ( $N_{SFEU}/N_{HPP}$ ) on the diameter of the turbine's working wheel ( $D_1$ )

Как следует из рисунка 3, относительная мощность совмещенной солнечной установки на крупных ГЭС не будет превышать 5% установленной мощности последних. На малых ГЭС эта доля может повыситься до 10%, а в некоторых случаях – до 15%.

Следует отметить, что при проведении анализа уже рассматривались эксплуатирующиеся гидроузлы, конструктивные элементы которых, в частности, здания ГЭС, специально изначально не приспособлялись к совмещению с солнечными элементами. Однако такое приспособление с небольшими дополнительными капиталовложениями вполне возможно, за счёт чего может быть добавочно получено ещё несколько процентов относительной мощности ( $N_{СФЭУ}/N_{ГЭС}$ ).

Можно предположить, что при детальном рассмотрении элементы крепления солнечных батарей станут немного дешевле, а элементы конструкции здания ГЭС или других ГЭС – немного дороже. Инновационные опорные конструкции панелей солнечных элементов должны быть достаточно легкими, простыми, стандартизированными и не должны вызывать затруднений при конструктивном совмещении СФЭУ с элементами ГЭС и ГЭС. Однако это вряд ли сможет вызвать сомнение относительно общего заключения об экономической эффективности конструктивного совмещения СФЭУ и ГЭС [9]. При этом следует учитывать, что для повышения мощности СФЭУ сооружения ГЭС должны быть так ориентированы по отношению

к сторонам света, чтобы площади поверхностей, на которых планируется размещать солнечные элементы, и их расположение по отношению к направлению солнечных лучей были бы оптимальными для восприятия излучения. Этот фактор ввиду своей важности должен обязательно учитываться при выборе компоновки гидроузла.

В качестве примера приведены конструктивные предложения при реновации наиболее типичного из 70 рассмотренных природоохранных гидроузлов Камеруна и Зимбабве – ГЭС Лагдо на севере Камеруна на реке Бенуэ (рис. 4). Это единственная крупная ГЭС в регионе, поэтому к ней предъявляются высокие требования по надёжности обеспечения выработки электроэнергии.

В состав сооружений гидроузла входят: грунтовая плотина высотой  $H_{пл} = 40$  м длиной по гребню 230 м; подводящий канал шириной 23 м по дну длиной 300 м в выемке по левому берегу реки, разветвляющийся на подводящий канал к зданию ГЭС и водосбросной канал; бетонный водослив; здание ГЭС и отводящие каналы от водосброса и здания ГЭС. В здании приплотинного типа установлено 4 агрегата с вертикальными поворотнолопастными турбинами (рис. 5). Диаметр рабочего колеса турбин  $D_1 = 4,5$  м. Здание ГЭС имеет плоскую крышу, удобную для размещения солнечных элементов. Силовые трансформаторы расположены со стороны НБ от здания ГЭС.

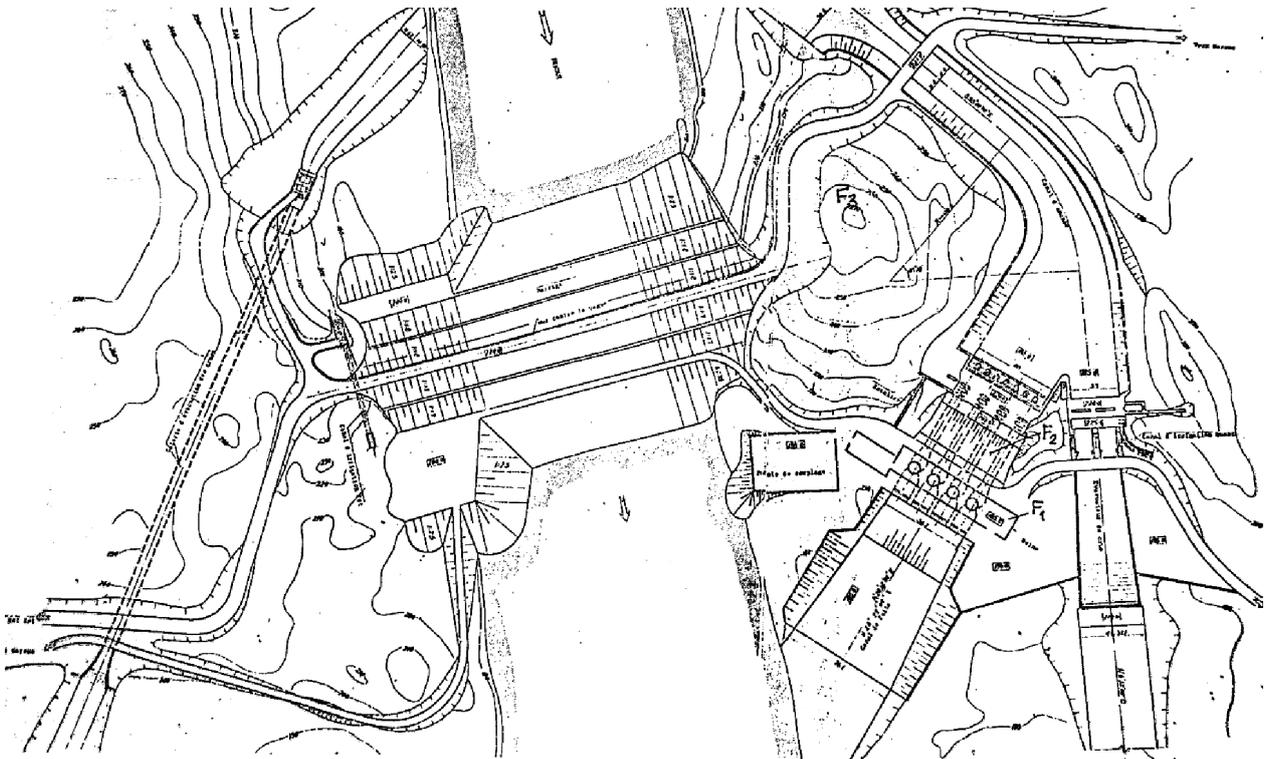


Рис. 4. Генплан гидроузла Лагдо, Камерун,  $H_{расч.} = 20$  м, 1977-1982 гг.

Fig. 4. General plan of the hydraulic unit Lagdo, Cameroon,  $H_{rated} = 20$  m, 1977-1982

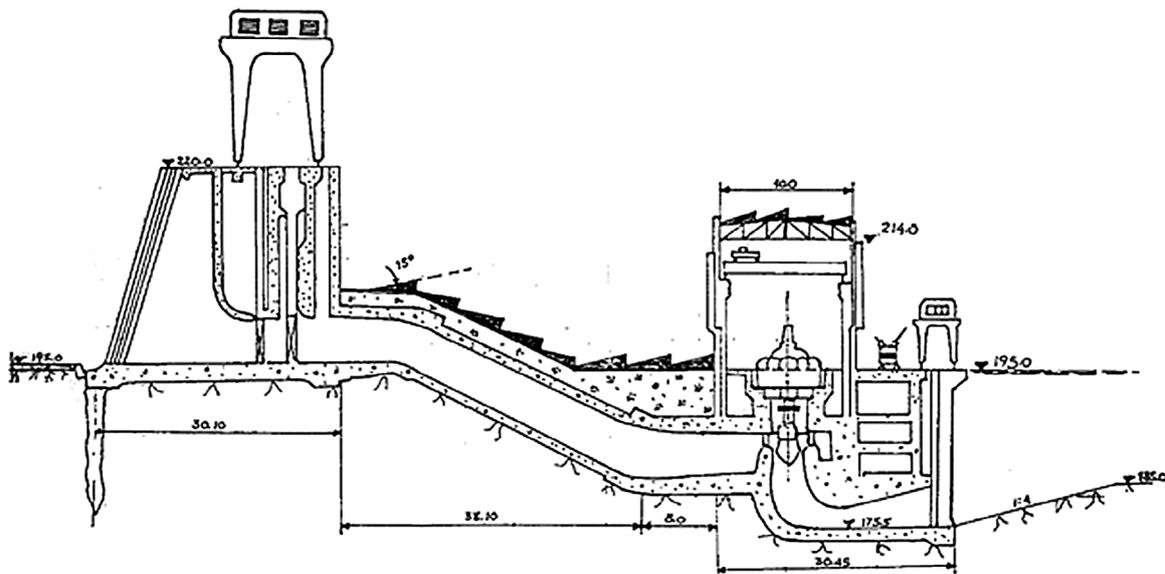


Рис. 5. Схематический поперечный разрез по водоприемной части плотины и зданию ГЭС Лагдо ( $N_{ГЭС} = 72$  МВт) при установке СФЭУ ( $N_{СФЭУ} = 5$  МВт)

Fig. 5. Schematic cross-section on the water intake part of the dam and the building of the HPP Lagdo ( $N_{HPP} = 72$  MW) at the installation of SFEU ( $N_{SEFU} = 5$  MW)

На территории и гидротехнических сооружениях гидроузла Лагдо для размещения солнечных элементов были выделены следующие поверхности общей площадью  $F = 16500$  м<sup>2</sup>: горизонтальная крыша здания ГЭС ( $F = 900$  м<sup>2</sup>); слабонаклонная бетонная площадка над стационарными водоводами, обращенная от юга ( $F = 3600$  м<sup>2</sup>); обращенная

к югу часть склона естественного холма между левобережным примыканием плотины и подводным каналом ( $F = 12000$  м<sup>2</sup>). Помимо этого, могут быть использованы также более мелкие по площади участки левобережной территории гидроузла, однако они не учитывались, поскольку неизвестно, насколько они важны в процессе обслуживания

здания ГЭС и ОРУ и как режим течения в НБ влияет на прозрачность воздуха. Не рассматривались также пригодные участки правобережной территории гидроузла ввиду их удалённости от здания ГЭС и ОРУ. Конструктивно панели предполагалось размещать на стандартных металлических конструкциях, обеспечивающих расположение их на некоторой высоте над землёй или поверхности ГЭС с небольшим углом наклона в сторону юга (как правило, 15°). Установленная мощность СФЭУ Лагдо ( $N_{\text{СФЭУ}} = 5$  МВт) была найдена пропорционально суммарно занимаемой ею площади и с учётом мощности солнечных батарей, которая может быть получена с 1 кв. м. В результате такой схематической проработки было определено, что при напоре на гидроузле  $H = 20$  м размещение солнечных элементов позволит обеспечить 6,95% от мощности ГЭС.

Отсутствие подробной информации о стоимостных показателях отчуждаемых земель, материалов, оборудования и строительных работ для условий Камеруна на позволило определить точные технико-экономические показатели комплексной ГЭС-СФЭУ Лагдо. Однако предварительная оценка по обобщённым показателям свидетельствует о возможности получения экономического эффекта при конструктивном совмещении действующей ГЭС Лагро с СФЭУ и обеспечивается при ценах на органическое топливо выше 0,2 долл. США/кг и удельной стоимости 1 кв. м земли в районе ГЭС около 5 долл. США.

### Библиографический список

1. **Безруких П.П.** Возобновляемая и малая энергетика «Деловая слава России»: альманах (Спец. вып.). – М.: Славица, 2006.
2. Экологические проблемы использования возобновляющихся источников энергии / В.В. Волшаник, А.Г. Пешнин, Умару Хаманджода и др. // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4. – С. 108-119.
3. **Прайд Табвивакаре, Черных О.Н.** Развитие методов «зелёного проектирования» в природоохранной гидротехнике Зимбабве / Студент года 2020: сб/ статей Международного научно-исследовательского конкурса. Ч. 3. – Петрозаводск: МЦНП «Новая наука», 2020. – С. 141-146.
4. **Лин Аунг Тет, Малинин Н.К., Шестопалова Т.А.** Исследование эффективности использования солнечных фотоэлектрических установок в системах

### Выводы

На основе анализа расположения современных гелиоустановок в районе здания ГЭС на природоохранных гидроузлах 4-х типов и разного класса опасности показана целесообразность конструктивного совмещения элементов природоохранных гидроузлов, в частности, здания гидроэлектростанций, площадок и низовых откосов плотин с солнечными фотоэлектрическими установками. Это позволяет избежать отчуждения из хозяйственного оборота значительных площадей для размещения СФЭУ, совместить их электрическое хозяйство, уменьшить протяжённость линий электропередач к потребителям электроэнергии и сократить подъездные пути.

Даны принципиальные предложения по выбору компоновочной схемы и места расположения силовых трансформаторов, обеспечивающих большее повышение мощности совмещённой солнечной установки. На крупных ГЭС мощность комплекса ГЭС-СФЭУ не будет превышать 5%, а на малых ГЭС при совмещении с СФЭУ мощность комплекса может быть повышена более чем на 10% от установленной мощности ГЭС.

Сформулированные принципы позволяют повысить мощность, надёжность энергоподачи и безопасность сооружений природоохранного гидроузла, а при реновации создают условия для роста технико-экономических показателей и эффективности гибридного комплекса ГЭС-СФЭУ.

### References

1. **Bezrukih P.P.** *Vozobnovlyayemaya i malaya energetika: almanah «Delovaya slava Rossii» (spets. Vyp.).* – M.: Slavitsa, 2006. – S. 122-123.
2. *Ekologicheskie problemy ispolzovaniya vozobnovlyayushchihsyа istochnikov energii / Volshanik V.V., Peshnin A.G., Umaru Hamanjoda. i dr. // Vestnik MGSU.* – 2010. – № 4. – S. 108-119.
3. **Praid Tabvivakare, Chernykh O.N.** *Razvitie metodov «Zelenogo proekmirovaniya» v prirodoohrannojj gidrotehnikе Zimbabwe / Student goda 2020. Sbornik statej Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa v 4-h chastyah. Chast 3.* – Petrozavodsk: MTSNP «Novaya nauka», 2020. – S. 141-146.
4. **Lin Aung Tet, Malinin N.K., Shestopalova T.A.** *Issledovanie effektivnosti ispolzovaniya solnechnyh fotoelektricheskikh*

распределенной энергетики в регионах Мьянмы // Энергетик. – 2014. – № 5. – С. 36-40.

5. **Прайд Табвиракаре, Черных О.Н.** Основные аспекты «зелёного строительства» в российской гидротехнике и в Зимбабве / Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию А.В. Леонтовича. – М.: РГАУ-МСХА, 2019. – С. 506-510.

6. **Умару Хаманджода.** Обоснование эффективности энергетического и конструктивного совмещения гидроэлектростанций с солнечными фотоэлектрическими установками: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – М., 1996. – 18 с.

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

8. 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 г. Сб. научных трудов РААСН. Т. 2. – М.: Издательство АСВ, 2020. – С. 152-157.

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

#### 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 24.02.2021 г.

Одобрена после рецензирования 22.03.2021 г.

Принята к публикации 05.04.2021 г.

ustanovok v sistemah raspredelennoj energetiki v regionah Mjanmy // Energetik. – 2014. – № 5. – С. 36-40.

5. **Prayd Tabvirakare, Chernykh O.N.** The main aspects of “green construction” in Russian hydraulic engineering and in Zimbabwe // Materials of the International Scientific Conference of Young Scientists and specialists dedicated to the 150th anniversary of A.V. Leontovich. – Moscow: RGAU-MSHA, 2019. – pp. 506-510.

6. **Umaru Hamandjoda.** Obosnovanie effektivnosti energeticheskogo i konstruktivnogo sovmeshcheniya gidroelektrostantsij s solnechnymi fotoelektricheskimi ustanovkami: avtoref. dis. kand. tehn. nauk: 05.14.10. – М.: 1996. – 18 s.

7. Spravochnye dannye po gidroelektrostantsiyam mira. Gidroelektrostantsii stran Afriki, Filippin, Indonezii, Avstralii, Novoj Zelandii i Okeanii. – М.: Gidroproject, 1986. – 340 s.

8. Kontruktivnoe i tehnologicheskoe sovmeshchenie gidravlicheskih i solnechnyh elektrostantsij / Volshanik V.V., Chernykh O.N., Hamanjoda U., Pride Tabvirakare. / Fundamentalnye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASH po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arhitektury, gradostroitelstva i stroitelnoj otrasli Rossijskoj Federatsii v 2019 godu: sb. Nauch. Tr. RAASH t. 2. – М.: Izdatelstvo ASV, 2020. – S. 152-157.

9. Problema ekonomicheskoy otsenki teplovogo zagryazneniya atmosfery objektami elektroenergetiki / Volshanik V.V., Peshnin A.G., Hamanjoda U., Shchennikova G.N. // Vestnik MGSU. – 2009. – № 1. – С. 198-207.

#### Criteria of authorship

Chernyh O.N., Burlachenko A.V., Volshanik V.V. carried out theoretical studies, on the basis of which they generalized and wrote the manuscript. Chernyh 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 24.02.2021

Approved after reviewing 22.03.2021

Accepted for publication 05.04.2021