

05.23.00 Строительство и архитектура

УДК 502/504:621.311.21:628.113

А.П. КРЫЛОВ, А.М. БАКШТАНИН

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация»

НОВЫЕ КОНЦЕПЦИИ В РАЗВИТИИ МИКРО-ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ. ГИДРАВЛИКА В НАПОРНЫХ ВОДОВОДАХ МИКРО-ГЭС

Объектом исследований является экспериментальная микро-ГЭС с ортогональной турбиной в качестве рабочего агрегата. В целях минимизации конструктивного вмешательства в конструкцию существующих гидротехнических сооружений, дополнительной особенностью исследуемой микро-ГЭС с ортогональной турбиной является использование сифонного водовода. Целью исследований является калибровка схемы измерения расхода методом центробежной силы на колене микро-ГЭС на Хоробровском гидроузле, осуществляемая на геометрически подобной модели, выполненной в масштабе 1:2,5. Особое внимание было уделено вопросу исследований пульсаций в водоводе и гидравлическим потерям в водоводе, так как это в значительной мере влияет на работу микро-ГЭС, её надежность и безопасность. Также в статье были рассмотрены схожие микро-ГЭС, но с другими компоновочными решениями. Были рассмотрены некоторые экологические аспекты влияния подобных микро-ГЭС. По результатам исследований были получены натурные тарировочные кривые зависимости расхода Q от перепада давления Δp на вогнутой и выпуклой стенках колена для каждого створа, а также натурные значения коэффициента k для расчета расхода. Важным является наиболее рациональное, эффективное и экологически безопасное использование имеющегося гидроэнергетического потенциала. Гидравлические исследования сифонных водоприемников и турбинных трактов в их составе отвечают на вопрос о качественном измерении расхода, минимизации гидравлических потерь в водоводе, отсутствии кавитационных явлений и отклоняющихся от нормы пульсаций при разных режимах работы.

Микро-ГЭС, сифонные водоприемники, ортогональная турбина, микро-гидроэнергетика, измерение расходов

Введение. На сегодняшний день малая – и микро-гидроэнергетика является одним из приоритетных областей развития в сфере возобновляемых источников энергии, ввиду большой востребованности в слабозаселенных регионах, где требуется надежное автономное и сетевое электрообеспечение, а также там, где её потенциал не реализован на существующих гидроузлах.

Причины пристального внимания к малой гидроэнергетике: МГЭС уже сегодня могут конкурировать с дизельными генераторами, являются привлекательным для малого и среднего бизнеса источником энергии, создают стимулы для региональ-

ного развития. Более 70% территории РФ, где проживает 10% населения, находится в зонах децентрализованного энергоснабжения. Это делает целесообразным использование ВИЭ для обеспечения автономных потребителей.[1]

В настоящее время треть электроэнергии на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) вырабатывается на МГЭС, то есть порядка 3 млрд кВт·ч, при этом нереализованный потенциал огромен.

В 2015 году организацией ОА «НИИ-ЭС» «РусГидро» были проведены предварительные эксперименты по реализации концепции портативной микро-ГЭС кон-

тейнерного типа с применением в качестве рабочего агрегата ортогональной турбины [2]. Испытания проводились на существующем гидроузле Хоробровской МГЭС на реке Нерль. Испытуемая мини-ГЭС имеет сифонный водоприемник, включающийся в работу с помощью вакуумного насоса. Выбор подобного водоприемника имеет под собой следующее основание: 1. компактность сооружения. 2. большая надежность работы сифонного водоприемника, ввиду отсутствия подвижных и мелких деталей, нуждающихся в постоянном уходе 3. возможность его установки на существующие гидроузлы. Помимо вышесказанного отличительной особенностью микро-ГЭС является её сборно-разборная конструкция. Данное решение позволяет не вносить изменения в несущую конструкцию существующей плотины, а также производить монтаж-демонтаж в максимально короткие сроки от 1 до 2-х дней [3]. (рис. 1).



Рис. 1. Установка энергетического блока мини ГЭС на полигональный водосброс р. Нерль. Контейнерное исполнение с ортогональной турбиной в нижнем бьефе

Простой монтаж-демонтаж и возможность генерации электроэнергии автономны, делают её привлекательной для удалённых энергопотребителей, где нет доступа к общей сети. В качестве энергопотребителя в данном случае могут выступать: удалённые рыболовецкие посёлки, производственные предприятия, всевозможные сезонные промыслы, жилые поселения, лишенные доступа к общей сети электроэнергии и пр. Единственным условием реализации концепции для по-

добного рода энергопотребителей является наличие достаточного гидроэнергетического ресурса и возможность его реализации.

Также компоновка сооружений возможна без контейнера, что еще более упрощает и удешевляет установку подобной МГЭС, не теряя при этом мощностных характеристик. Данная концепция была реализована фирмой “НВС” (рис. 2). В данном случае в качестве энергетического агрегата использовалась пропеллерная турбина с жалюзийным направляющим аппаратом, расположенная в верхнем оголовке водоприемника.

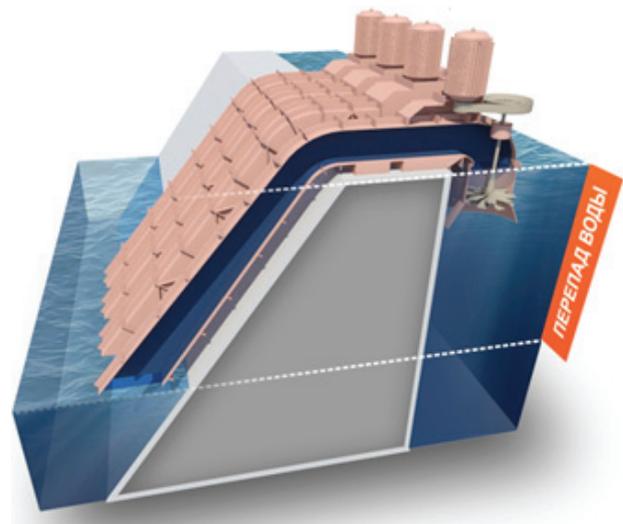


Рис. 2. Сифонная микро-ГЭС в безконтейнерном исполнении с пропеллерной турбиной в верхнем оголовке сифонного водовода

Материал и методы. При проведении испытаний Хоробровской микро-ГЭС важным моментом была методика определения расходов и исследование гидравлических явлений, происходящих в водоводе подобной микро-ГЭС.

Целью исследований являлась калибровка схемы измерения расхода методом центробежной силы на колене микро-ГЭС на Хоробровском гидроузле, осуществляемая на геометрически подобной модели, выполненной в масштабе 1:2,5.

В общем виде можно выделить следующие задачи экспериментальных исследований:

- получение натурной кривой зависимости $Q = f(\Delta p)$;
- получение натурального значения коэффициента k для расчета расхода

Данный способ основан на том, что при повороте потока развивается центробежная сила, повышающая давление у вогнутой стенки и понижающая его у выпуклой. Расход при этом строго пропорционален корню из разности давлений.

Расход определяется по формуле:

$$Q = k\sqrt{\Delta p} \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, определяемый опытным путем, Δp – разность давлений на колене.

Замер расхода способом центробежной силы имеет следующие преимущества:

1. Способ центробежной силы весьма точен при наличии его тарировки; он становится неточным при малых скоростях.

2. Рекомендуется брать колена с постоянными (по углу поворота) диаметрами D и радиусами R .

Модельные гидравлические испытания по определению коэффициентов подобия и тарировки проводились на экспериментальной модели (рис. 3)



Рис. 3. Гидравлическая модель подводящего участка МГЭС с сифонным подводом и имитацией работы турбины
а) неработающая модель б) работающая установка:

- 1 – оголовок водовода; 2 – отвод 45°; 3 – прямолинейный горизонтальный участок;
4 – отвод 90°; 5 – прямолинейный вертикальный участок; 6 – отвод 90°;
7 – турбинный водовод; 8 – затвор-регулятор

Результаты и обсуждение. Достоинством данного способа определения расходов является возможность его применения на реальных объектах. По результатам испытаний были получены значения коэффициента k_1 и построенная по экспериментальным точкам натурная кривая $Q = f(\Delta p)$ (рис. 4).

В ходе натурных испытаний были получены результаты гидравлических потерь потока в турбинном тракте водовода в ГЭС (рис. 5), что соответственно приводит к падению мощности, ненормативным вибрациям и кавитации в турбинном тракте.

Таким образом, следует заключить, что гидравлические процессы сифонных водоприемников в составе микро-ГЭС является важным предметом исследования. При разных компоновочных решениях и разных турбинах микро-ГЭС с сифонным водоприемником требует дальнейших исследова-

ний для универсального методологического заключения о повышении эффективности работы подобных станций и стабильности работы.

Дополнительно проведены измерения пульсации давления потока в водоводе сифонного типа. Для этого на модели сифонного водовода были установлены 5 датчиков пульсации давления в выбранных точках (рис. 7). Измерения проводились при прохождении через водовод расходов $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q = 0,7 \text{ м}^3/\text{с}$. Получены спектры частот (рис. 6) и распределение стандартов пульсации давления потока по длине водовода. По полученным данным видно, что пульсация давления растет по длине водовода почти в 2 раза. Это обусловлено особенностями конструкции сифонного водовода. Частота пульсации давления в точке водовода, где располагается турбина, составляет 0,6-2,2 Гц.

Вопрос пульсаций в турбинном тракте работающей установки является немаловажным для обеспечения безопасной и надежной

эксплуатации микро-ГЭС. При продолжительной работе микро-ГЭС пульсации должны находиться в строго определенном пределе.

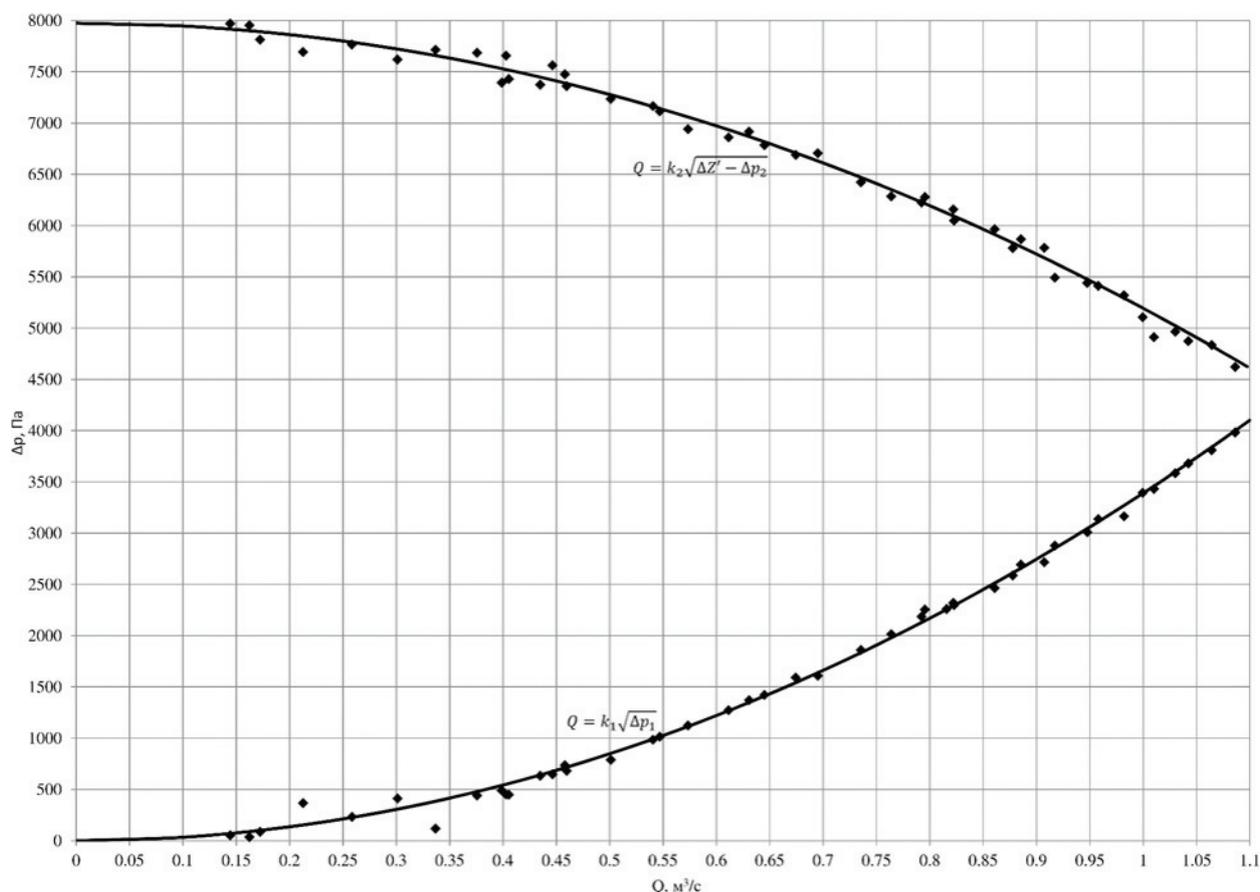


Рис. 4. Натурные кривые $Q=f(\Delta p)$, построенные по экспериментальным точкам

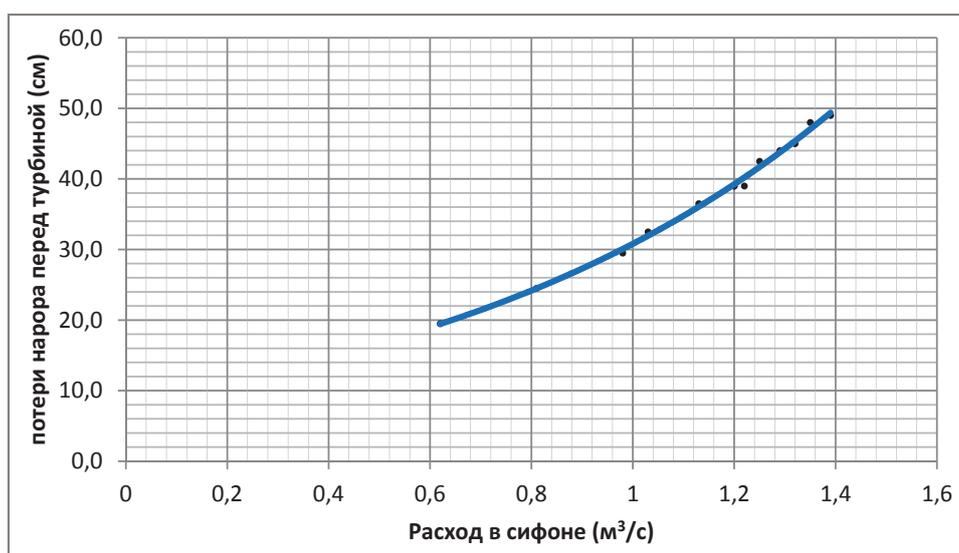
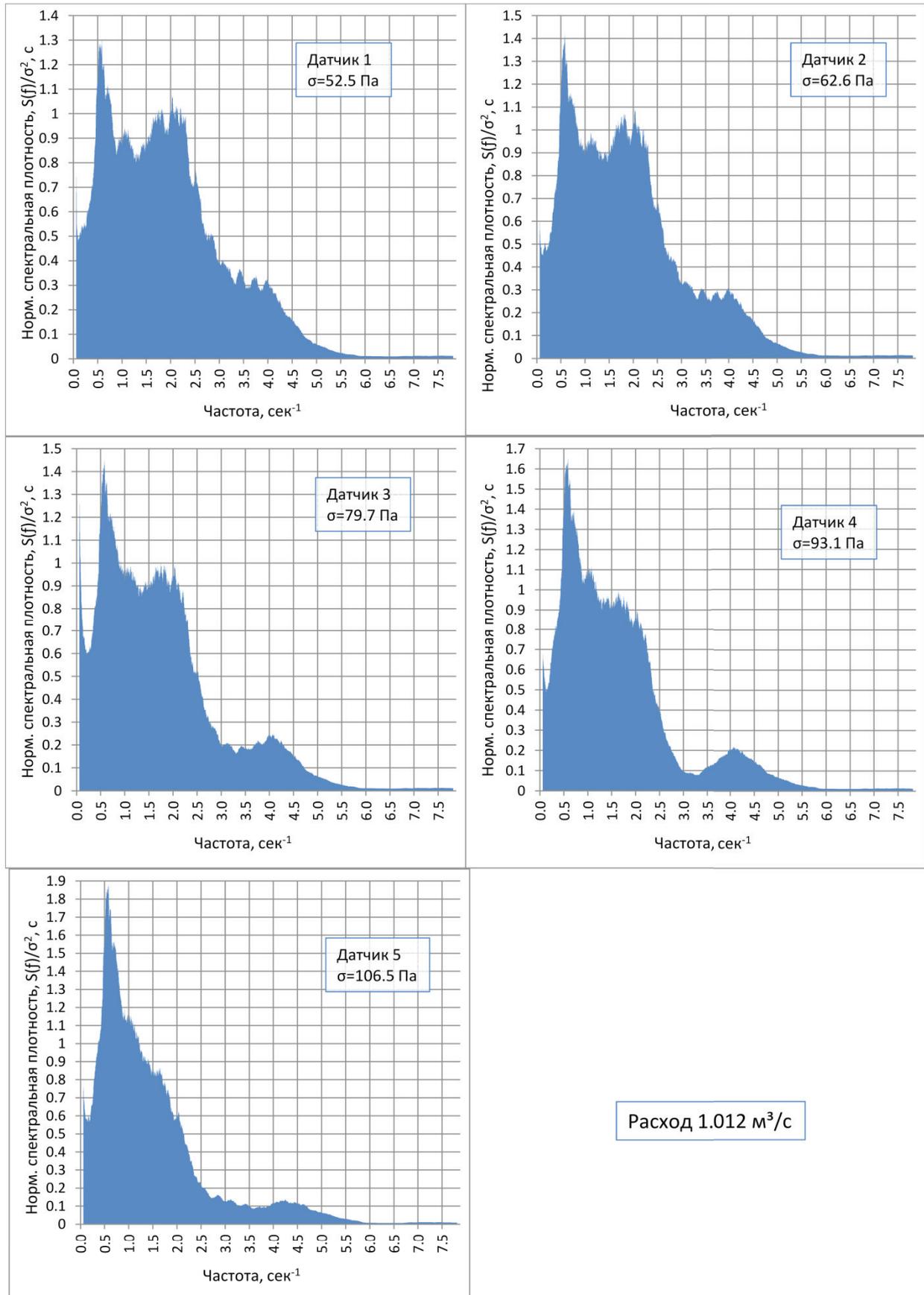


Рис. 5. Гидравлические потери напора в турбинном тракте перед турбиной в НБ микро-ГЭС

Отметим также, что подобного типа микро-ГЭС несут минимальное влияние на природную среду, не внося существенных изменений в естественный ландшафт. Со-

гласно отчету, опубликованному в Норвегии (2012 г.) [4] на базе исследования 27 малых ГЭС, были приведены различные виды влияния их на окружающую среду (рис. 8).

Рис. 6. Спектры частот пульсации давления потока при пропуске расхода $Q = 1 \text{ м}^3/\text{с}$

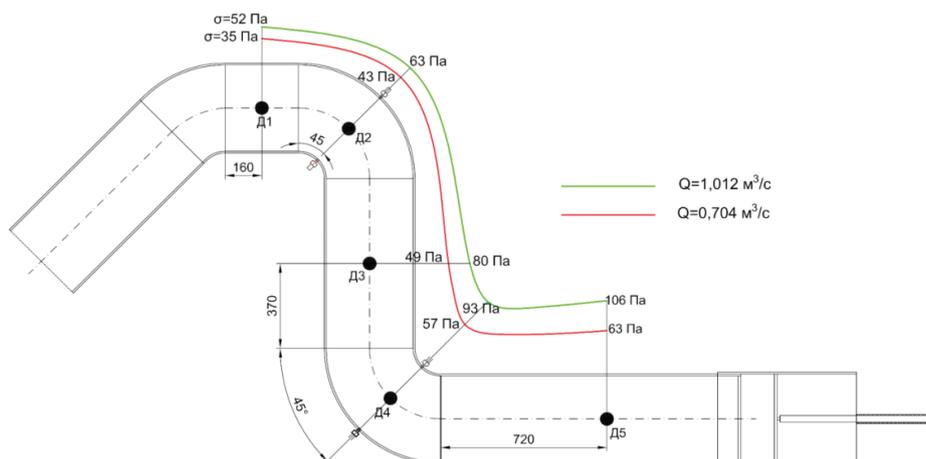


Рис. 7. Распределение стандартов пульсации давления по длине водовода

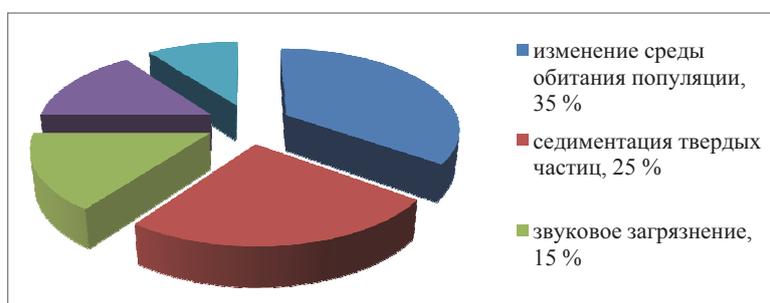


Рис. 8. Наиболее значимые влияния на окружающую среду микро ГЭС

Выводы

Можно заключить, что данное направление в развитии малой гидроэнергетики крайне перспективно для определенных целей и в определенных условиях. Возникает новая инновационная ниша гидроэнергетики, где используются портативные ГЭС с разным диапазоном мощностей, с разными компоновочными решениями: дери-вационная, на существующих гидроузлах, контейнерная, безконтейнерная, и главным в данной концепции является унифицированность всех деталей, узлов и возможность быстрого монтажа и демонтажа, это делает малую гидроэнергетику более конкурентоспособной по сравнению с другими отраслями энергетики. Кроме того, подобные микро-ГЭС несут очень незначительное влияние на окружающую среду, экономически оправданы и надежны в эксплуатации. Это делает их конкурентоспособными в качестве возобновляемого источника энергии. Гидравлические исследования на модели и в натуре позволили определить наиболее точный метод определения расхода, пульсации в водоводе при различных режимах ра-

боты, гидравлические потери потока. Также был дан краткий анализ влияния подобных объектов на окружающую среду. Широким остается вопрос гидравлических исследований, которые необходимо провести для наиболее эффективного и безопасного использования микро-ГЭС с сифонным подводом для различных рабочих гидроагрегатов.

Библиографический список

1. Безруких П.П., Соловьев Д.А. Взгляд на энергетику 2020 года в свете устойчивого развития России. // Малая энергетика. 2014. № 1-2. С.17
2. Историк Б.Л., Шполянский Ю.Б. Модернизированная ортогональная турбина с пристеночным направляющим аппаратом в приливной энергетике. // Гидротехническое строительство. 2015. № 6 С. 32
3. Историк Б.Л., Соколов В.Ю., Гордничев Р.М., Золотов А.Л., Крылов А.П. Натурные испытания мини-ГЭС блочного исполнения в створе Хоробровского гидроузла (этап 1). / Сб.: «Безопасность энергетических сооружений» (БЭС). Вып. 2. (22). М.: АО «НИИЭС», 2016. С. 106-121

4. ESHA – European Small Hydropower Association.” Environmental impact of small hydro power plants”

Материал поступил в редакцию 13.06.2017 г.

Сведения об авторах

Крылов Алексей Петрович, аспирант кафедры КИВР и гидравлики ФГБОУ

ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, e-mail: krylovalexiy@gmail.com

Бакштанин Александр Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры КИВР и гидравлики ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 127550, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49, e-mail: bakshtanin@mail.ru

A.P. KRYLOV, A.M. BAKSHTANIN

Federal state budgetary educational institution of higher education «Russian state agrarian university – MAA named after C.A. Timiryazev»

NEW CONCEPTS IN DEVELOPMENT OF MICRO-HYDROPOWER ENGINEERING IN PRESSURE WATER CONDUITS OF MICRO-HPP

The subject of the research is an experimental micro hydropower plant (MHPP) with an orthogonal turbine as a work unit. To minimize constructive interference in the design of the existing hydraulic structures an additional characteristic feature of it is usage of a siphon water conduit. The aim of the research is calibration of the flow measurement scheme by the centrifugal force method on the knee of the micro-hydro power plant at the Khorobrovsky hydraulic unit, carried out on a geometrically similar model, made on a scale of 1:2.5. Particular attention was paid to the investigation of pulsations in the water conduit and hydraulic losses in the water conduit as this largely influences the operation of micro-HPP, its reliability and safety. Also in the article there were considered similar micro-HPPs but with other layout solutions. Some environmental impacts of such micro-HPPs were considered. Based on the results of the research, full-scale calibration curves were obtained for the flow Q dependence on the pressure drop Δp on the concave and convex knee walls for each section, as well as field values of the k coefficient for flow rate calculating. The most rational, effective and environmentally safe use of the available hydropower potential is important. Hydraulic studies of siphon water intakes and turbine tracts in their structure answer the question of qualitative flow measurement, minimization of hydraulic losses in the water conduit, absence of cavitations and abnormal pulsations under different operating conditions.

Micro-hydropower plant, siphon water intakes, orthogonal turbine, micro-hydro power engineering, flow measurements.

References

1. **Bezrukih P.P., Solovjev D.A.** Vzgljad na energetiku 2020 goda v svete ustoichivogo razvitiya Rossii. // Malaya energetika. 2014. № 1-2. S.17
2. **Istorik B.L., Shpolyansky Yu.B.** Modernizirovannaya ortogonaljnaya turbina s pristenochnym napravlyayushchim apparatom v prilivnoj energetike. // Gidrotehnickeskoe stroiteljstvo. 2015. № 6 S. 32
3. **Istorik B.L., Sobolev V.Yu., Gorodnichev R.M., Zolotov A.L., Krylov A.P.** Naturnye ispytaniya mini-GES blochnogo ispolneniya v stvore Khorobrovskogo gidrouzla (etap 1). / Sb.: «Bezopasnostj energeticheskikh sooruzhenij» (BES). Vyp. 2. (22). M.: AO «NIIES», 2016. S. 106-121.s. 106
4. ESHA – European Small Hydropower Association.” Environmental impact of small hydro power plants”

The material was received at the editorial office
13.06.2017

Information about the authors

Krylov Alexey Petrovich, post-graduate student of the chair KIVR and hydraulics, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d.49, e-mail: krylovalexiy@gmail.com

Bakshtanin Alexander Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor of the chair KIVR and hydraulics, FSBEI HE RGAU-MAA named after C.A. Timiryazev, 127550, Moscow, ul. Timiryazevskaya, d.49, e-mail: bakshtanin@mail.ru