

Мухаммадиев Мурадулла¹
muhammadiyev_m@rambler.ru

Уришев Бобораим²
bob_urishev@mail.ru

Кан Эдуард¹
Kan_E1969@mail.ru

Джураев Курбон¹
djqs1983@gmail.com

¹*Ташкентский государственный технический университет
имени Ислама Каримова, Узбекистан, г. Ташкент*

²*Каршинский инженерно-экономический институт, Узбекистан, г. Карши*

НОВЫЕ СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОГЭС НА СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ: СХЕМЫ, ПАРАМЕТРЫ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Аннотация. В состав гидротехнических сооружений энерговодохозяйственных систем входят затворы различного назначения, которые позволяют регулировать, распределять расход воды на каналах, гидроузлах. Недостатками этих затворов являются ограничение функциональных возможностей и частые изменения положения в «рабочем» и «нерабочем» режимах, требующие больших энергозатрат и приводящие к быстрому износу и выходу из строя уплотнений затвора. Существующие конструкции затворов не предусматривают возможности выработки электроэнергии от водной энергии проходящего через них потока. С целью преобразования гидравлической энергии воды, проходящей через затворы в электрическую энергию предложена новая запатентованная конструкция затвора, позволяющая при помощи микроГЭС с турбиной Банки более рационально использовать гидроресурсы энерговодохозяйственных систем. Предлагаемая конструкция решает задачи расширения функциональных возможностей затвора и увеличения коэффициента полезного действия микроГЭС с снижением её стоимости. Также предложены области применения новой конструкции по комбинированному использованию микроГЭС и гидротехнических затворов на гидроузлах энерговодохозяйственных систем. Приведена методика по определению

технико-экономических параметров микроГЭС установленных на плоских затворах гидротехнических сооружений, выполнены теоретические расчёты, которые показали, что чем больше мощность микроГЭС, тем меньше срок её окупаемости. Установлено что при мощности микроГЭС больше 10 кВт, конструкция экономически эффективна и с помощью таких установок можно решать вопросы энергообеспечения для автономного функционирования затворов при различных режимах эксплуатации, малых потребителей, отдельных индивидуальных и фермерских хозяйств, проблемы энергоресурсосбережения и сохранение экологической чистоты.

Ключевые слова: водопровод, станция, канал, турбина, микроГЭС, генератор.

Mukhammadiev Muradulla¹
muhammadiyev_m@rambler.ru

Urishev Boboraxim²
bob_urishev@mail.ru

Kan Eduard¹
Kan_E1969@mail.ru

Dzhuraev Kurbon¹
djqs1983@gmail.com

*¹Tashkent State Technical University named after Islam Karimov,
Uzbekistan, Tashkent*

²Karshi Engineering and Economics Institute, Uzbekistan, Karshi

NEW METHODS OF APPLICATION OF MICRO-HYDROELECTRIC POWER PLANTS AT EXISTING HYDRAULIC STRUCTURES: SCHEMES, PARAMETERS, EFFICIENCY

Abstract. The structure of hydraulic structures of power and water management systems includes gates for various purposes, which allow you to regulate and distribute the flow of water in channels and waterworks. The disadvantages of these gates are limited functionality and frequent changes in position in the «working» and «non-working» modes, which require high energy consumption and lead to rapid wear and failure of the gate seals. Existing gate designs do not provide for the possibility of generating electricity from the water energy of the stream passing through them. In order to convert the hydraulic energy of water passing through the gates into electrical energy a new patented design of the gate is proposed which allows using microelectric power plants with a Banki

turbine to make more rational use of the hydro resources of energy and water management systems. The proposed design solves the problem of expanding the functionality of the gate and increasing the efficiency of microelectric power plants with a reduction in its cost. Areas of application of the new design for the combined use of microelectric power plants and hydraulic gates at hydroelectric power systems are also proposed. The technique for determining the technical and economic parameters of micro-hydroelectric power plants installed on flat gates of hydraulic structures is given, and theoretical calculations are performed, which showed that the higher the capacity of micro-hydroelectric power plants, the shorter its payback period. It is established that with a power of more than 10 kW, the design is cost-effective and with the help of such installations, it is possible to solve the issues of energy supply for the Autonomous operation of gates in various operating modes, small consumers, individual and farms households, problems of energy saving and preservation of ecological purity.

Keywords: waterworks, channel, turbine, power, station, generator, flow, head.

Введение

В развитии возобновляемой энергетики республики Узбекистан одно из важных мест занимает использование энергетического потенциала рек, каналов, водозаборных сооружений, водовыпускных и водосбросных сооружений водохранилищ, гидроэлектростанций и других сооружений энерговодохозяйственного назначения [2, 3, 4, 5]. Использование гидравлической энергии водозаборных, водосбросных и водовыпускных сооружений открывает большие возможности в выработке электроэнергии [3, 4]. Строительство низконапорных гидроэнергетических установок, на таких объектах, не потребует больших материальных затрат, так имеется уже готовый напорный фронт [6, 7, 8, 9, 10]. Одним из важных аспектов в проведении анализа гидроэнергетического потенциала водозаборных, водосбросных и водовыпускных сооружений энерговодохозяйственных систем является разработка методики определения их водноэнергетических показателей (гидроэнергетических параметров), с учётом их назначения и сезонного регулирования [5, 6, 8, 11, 12, 13].

Актуальность темы статьи заключается в том, что в настоящее время в системе водного хозяйства республики эксплуатируются несколько десятков тысяч затворов, установленных

на водопропускных, водосливных и регулируемых гидротехнических сооружениях гидроузлов, на ирригационных каналах, водохранилищах, на насосных станциях и т. д. [2, 3, 4, 14, 15, 16] и установка на них микроГЭС позволит более полно использовать гидроэнергетический потенциал.

Эксплуатируемые затворы гидротехнических сооружений (ГТС) предназначены для открытия или закрытия водосливного отверстия, распределения воды в ирригационных каналах и т. д. Эти затворы используются во всех гидроэнергетических и водохозяйственных объектах и имеют различные конструктивные исполнения: дисковый, плоский, конусный и др. [2, 3, 4, 6, 8, 12, 17].

Самый распространённый на практике вид гидротехнических затворов – плоские затворы [2, 3, 4, 6, 8, 12, 17]. Недостатками этих затворов являются не используемые функциональные возможности и частые изменения положения в «рабочем» и «нерабочем» режимах, требующее больших энергозатрат при его эксплуатации и приводящие к быстрому выходу из строя уплотнений затвора. К тому же существующие конструкции плоского затвора не предусматривают возможности использования водной энергии потока для выработки электроэнергии.

В работе предлагается использование гидротехнических затворов с микроГЭС, что позволит более рационально использовать водно-энергетические ресурсы энерговодохозяйственных систем – устройства по преобразованию гидравлической энергии воды в электрическую энергию с помощью микроГЭС, устанавливаемых на плоских затворах гидротехнических сооружений [2, 3, 4, 8, 9, 17, 18, 19].

Новизной предлагаемого технического решения является конструкция микроГЭС на затворах ГТС, существенно расширяющая их функциональные возможности, и способ технико-экономического обоснования целесообразности их применения.

Расширение функциональных возможностей гидротехнических объектов и гидротехнических сооружений (ГТС) требует проведения технического перевооружения с разработкой новых технических решений в этой области, а также использование их на проектируемых объектах гидроэнергокомплексов [5, 7, 8, 9, 18, 19].

Методы и материалы

Предложен способ использования водной энергии потока, проходящего через сооружения, в виде новой запатентованной конструкции микроГЭС с турбиной Банки на плоских затворах гидротехнического сооружения [20], что позволит более рационально использовать ресурсы энергосистем.

Плоский затвор ГТС служит для перекрытия водовыпускного отверстия и пропуска воды из верхнего бьефа в нижний по заданию диспетчерского пункта. Недостатком этого затвора является отсутствие возможности использования гидравлической энергии пропускаемой воды для получения электрической энергии [2, 3, 4].

Поставленная задача решается тем, что затвор ГТС, содержащий пролётное строение, опорно-ходовые части дополнительно содержит направляющие крышки и порог, колодец для размещения электросилового оборудования и микрогидроэлектростанцию имеющую в качестве гидродвигателя турбины Банки. Схема такого затвора представлена на рисунке 1.

Затвор ГТС содержит пролётное строение 1, опорно-ходовые части 2, две турбины Банки микрогидроэлектростанции 3, установленные на дне сооружения за пролётным строением 1, генератор 4, соединённый с турбиной посредством передаточного механизма 5, струенаправляющую крышку 6 и порог 7, колодец для размещения электросилового оборудования 8.

Затвор ГТС работает следующим образом. При открытии пролётного строения затвора 1, вода, направляемая крышкой 6 и порогом 7, поступает в турбины МГЭС 3, чем обеспечивается их вращение с генератором 4 с помощью передаточного механизма 5. Генератор 4 и другое оборудование (шкивы, мультипликатор, балластное сопротивление и др.) находятся в колодце 8, расположенном в центре водопроводящей камеры между турбинами МГЭС. Колодец герметично закрыт по периметру металлическими стенками, а его низ расположен на дне сооружения.

Для пропуска расхода воды, имеющего величину больше пропускной способности турбины, производится подъем пролётного

строения 1 затвора и подача воды в нижний бьеф через пролёт, расположенный над струнаправляющими крышками 6.

При выполнении ремонтных работ возможен подъем турбин вверх, так как их ось установлена в закладных частях сооружения и колодца, а направляющая крышка съёмная.

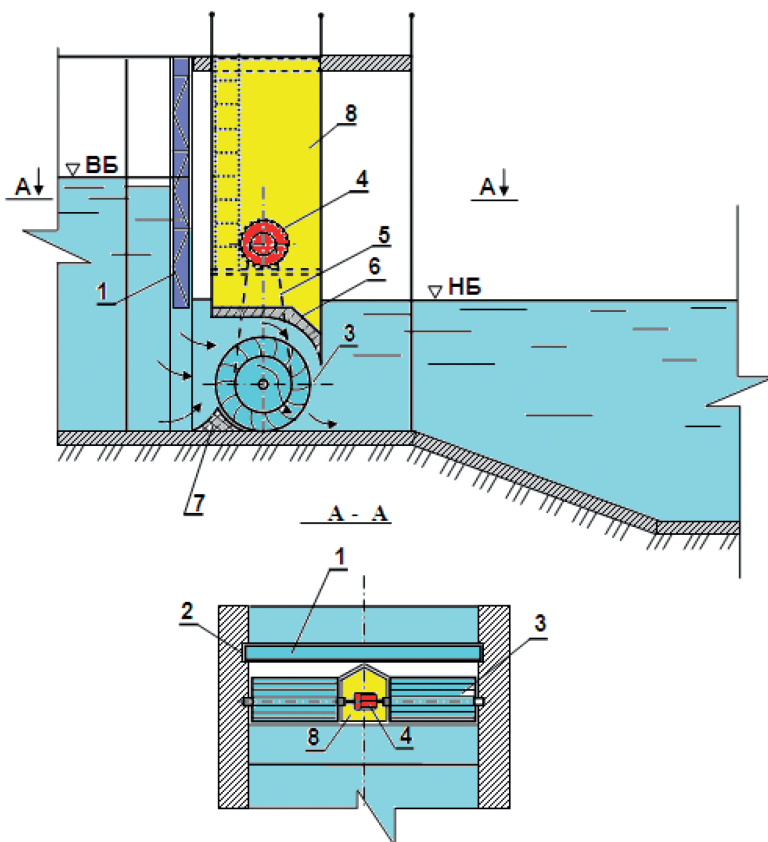


Рис. 1. МикроГЭС с турбиной Банки на плоском затворе ГЭС:
 1 – пролётное строение; 2 – опорно-ходовые части;
 3 – две турбины Банки; 4 – генератор;
 5 – соединённый с турбиной посредством передаточного механизма;
 6 – струнаправляющая крышка; 7 – порог; 8 – колодец

В предлагаемой конструкции затвора дополнительно устанавливаются направляющие крышки и порог, колодец для размещения электросилового оборудования, турбина Банки, и этим обеспечивается:

а) возможность подачи больших расходов воды в нижний бьеф в период вегетации, что отсутствует в обычных конструкциях затворов;

б) увеличивается коэффициент полезного действия МГЭС, так как отсутствуют турбинный трубопровод и задвижка и связанные с этим потери энергии в отличие от традиционных конструкций МГЭС;

в) турбина расположена непосредственно в зоне приёма потока воды без каких-либо промежуточных элементов и применение направляющей крышки и порога обеспечивает высокую степень подачи энергии к турбине, и все это, как следствие, увеличивает коэффициент полезного действия микроГЭС;

г) применение турбины Банки из-за простоты изготовления и соответственно меньших материальных затрат на изготовление значительно снижает стоимость микроГЭС.

Обязательным условием для широкого применения таких гидравлических установок является их технико-экономическое обоснование, то есть определение технико-экономических параметров микроГЭС устанавливаемых на затворах гидротехнических сооружений гидроузлов энерговодохозяйственной системы [2, 3, 11, 12].

К технико-экономическим параметрам микроГЭС устанавливаемой в затворе гидротехнического сооружения гидроузла энерговодохозяйственной системы следует отнести [6, 7, 11, 12]:

- напор микроГЭС;
- мощность микроГЭС;
- годовую вырабатываемую электроэнергию микроГЭС;
- капитальные вложения для создания микроГЭС на имеющемся затворе ГТС;
- эксплуатационные затраты по микроГЭС;
- стоимость выработанной электроэнергии микроГЭС;

- экономию топливных ресурсов;
- чистую прибыль от использования микроГЭС;
- срок окупаемости микроГЭС.

На рисунке 2 представлена одна из широко распространённых схем гидроузла энерговодохозяйственной системы [3, 5, 6, 14, 15, 21]. На схеме от водохранилища, образованного плотиной, идёт подводящий канал с нулевым уклоном дна, в конце которого расположен регулятор магистрального канала. Магистральный канал подводит воду к распределителям и деривационному каналу ГЭС. Для подвода воды к зданию ГЭС, от него отходит деривационный канал, заканчивающийся напорным бассейном, с правой стороны которого расположен холостой водосброс с перепадом, сопрягающим холостой сброс с нижним бьефом реки.

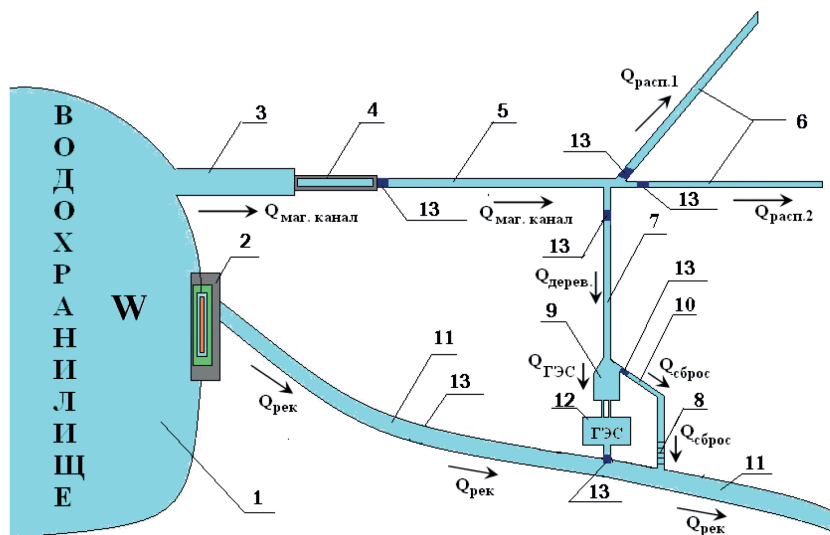


Рис. 2. Схема гидроузла энерговодохозяйственной системы:

- 1 – водохранилище; 2 – плотина; 3 – подводящий канал;
- 4 – регулятор магистрального канала; 5 – магистральный канал;
- 6 – распределители; 7 – деривационный канал; 8 – перепад;
- 9 – напорный бассейн; 10 – холостой водосброс; 11 – река;
- 12 – деривационный ГЭС; 13 – предполагаемые места установки микроГЭС

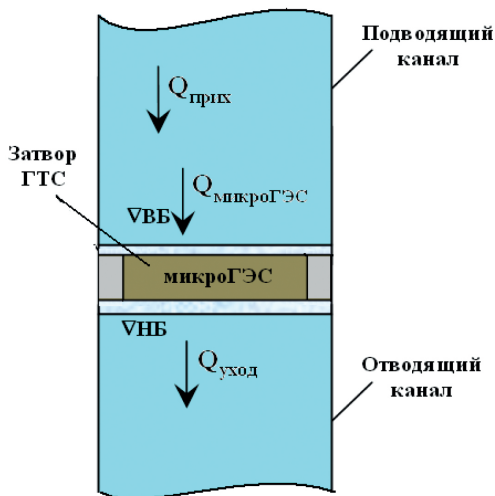


Рис. 3. Схема использования затвора ГТС с микроГЭС;
 $Q_{\text{прих}}$ – расход воды по подводящему каналу; $Q_{\text{микроГЭС}}$ – расход ГЭС;
 $Q_{\text{уход}}$ – расход воды по отводящему каналу

Из рисунка 2 видно, что, на нескольких участках гидроузла с установленными гидротехническими затворами для регулирования воды возможно комбинированное использование микроГЭС и гидротехнических затворов (13).

На рисунке 3 представлена схема использование микроГЭС на гидротехническом затворе канала.

На основе поставленной задачи была разработана методика расчета технико-экономического обоснования микроГЭС установленного на затворе гидротехнического сооружения.

Напор микроГЭС определяется:

$$H = \left(\nabla ВБ + \frac{Q_{\text{прих}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} - \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - \left(\nabla НБ + \frac{Q_{\text{уход}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} + \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - h_w, \quad (1)$$

где $\nabla ВБ$ – отметка воды до затвора, т. е. отметка верхнего бьефа микрогэс, м; $\nabla НБ$ – отметка воды после затвора, т. е. отметка нижнего бьефа микроГЭС, м; $S_{дно_вб}$ и $S_{дно_нб}$ – площади дна верхнего и нижнего бьефа, м²; hw – потеря напора водопроводящего тракта микрогэс, м; t – время работы микрогэс, сек.

Потеря напора в водопроводящем тракте микрогэс определяется:

$$hw_{\text{жс}} = 1,1 \cdot \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{16 \cdot Q_{\text{микроГЭС}}^2}{\pi^2 \cdot g \cdot D^4} = 0,182 \cdot \lambda \cdot \frac{L \cdot Q_{\text{микроГЭС}}^2}{D^5}, \quad (2)$$

где l – длина водопроводящего тракта микрогэс, м; d – диаметр водопроводящего тракта микрогэс, м; λ – коэффициент гидравлического трения и определяется [24]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{D} \right)^{0,25}, \quad (3)$$

где $\Delta_{\text{э}}$ – шероховатость стенок.

С учётом условия неразрывности $Q_{\text{микроГЭС}} = Q_{\text{уход}}$ формула напора (1) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} H = & \left(\nabla ВБ + \frac{Q_{\text{прих}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} - \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - \\ & - \left(\nabla НБ + \frac{Q_{\text{уход}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} + \frac{Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t}{S_{\text{дно_вб}}} \right) - \\ & - hw = \nabla ВБ - \nabla НБ + \\ & + \frac{1}{S_{\text{дно_вб}}} \cdot (Q_{\text{прих}} \cdot t - Q_{\text{микроГЭС}} \cdot t) - hw, \text{ м} \end{aligned} \quad (4)$$

Примем $t = 1$ сек, в этом случае напор определяется по формуле:

$$H = \nabla ВБ - \nabla НБ + \frac{1}{S_{\text{дно_вб}}} \cdot (W_{\text{прих}} - W_{\text{микроГЭС}}) - hw, \text{ м} \quad (5)$$

Полная мощность микроГЭС будет равна:

$$N_{\text{микроГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H_{\Gamma}, \text{ кВт} \quad (6)$$

где H_{Γ} – геометрический напор микроГЭС, который определяется по следующей формуле:

$$H = \nabla ВВ - \nabla НБ + \frac{1}{S_{\text{дно_вб}}} \cdot (W_{\text{прих}} - W_{\text{микроГЭС}}), \text{ м} \quad (7)$$

Мощность микроГЭС:

$$N_{\text{микроГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H \cdot \eta_{\Gamma А}, \text{ кВт} \quad (8)$$

где $\eta_{\Gamma А}$ – коэффициент полезного действия гидроагрегата ГЭС, %.

Если через микроГЭС проходит весь поступающий расход ($Q_{\text{микроГЭС}} = Q_{\text{уход}}$), тогда мощность микроГЭС будет равна [2, 3, 22, 23]:

$$N_{\text{микроГЭС}} = 9,81 \cdot Q_{\text{прих}} \cdot H \cdot \eta_{\Gamma А}, \text{ кВт} \quad (9)$$

Капитальные вложения для создания микроГЭС на имеющемся затворе ГЭС определяются по следующей формуле:

$$K_{\text{микроГЭС}} = N_{\text{микроГЭС}} \cdot k_{\text{уд}}, \text{ долл. США} \quad (10)$$

где $k_{\text{уд}}$ – удельное капиталовложения на 1 кВт, долл. США/кВт.

Ежегодная вырабатываемая электроэнергия микроГЭС:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{микроГЭС}} &= N_{\text{микроГЭС}} \cdot T = \\ &= 9,81 \cdot Q_{\text{микроГЭС}} \cdot H \cdot \eta_{\Gamma А} \cdot T, \text{ кВт} \cdot \text{ час}, \end{aligned} \quad (11)$$

где T – время использования микроГЭС в течение года.

Эксплуатационные затраты по микроГЭС определяются:
 $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$, [долл. США].

Z_1 – амортизационные расходы: $Z_1 = 0,029 \cdot k$, [долл.США];

Z_2 – ремонтные работы: $Z_2 = 0,03 \cdot k$, [долл.США];

Z_3 – годовая заработная плата: $Z_3 = m \cdot Z_{\text{зар}} \cdot 12$, [долл.США];

m – количество работников;

$Z_{\text{зар}}$ – месячная заработная плата, долл. США.

Цена выработанной электроэнергии микроГЭС:

$$\text{Ц} = \text{Э}_{\text{микроГЭС}} \cdot \beta, \text{ долл. США}, \quad (12)$$

где β – стоимость 1 кВт·час электроэнергии, долл. США/кВт·час.

Экономия топливных ресурсов:

$$\text{П}_{\text{топливо}} = \text{Э}_{\text{микроГЭС}} \cdot g, \text{ кг. у. т} \quad (13)$$

где g – удельные расход условного топлива, кг/(кВт·час).

Доход от экономии топливных ресурсов:

$$\text{Д}_{\text{топливо}} = \text{П}_{\text{топливо}} \cdot \text{Ц}_{\text{топливо}}, \text{ долл. США}, \quad (14)$$

где $\text{Ц}_{\text{топливо}}$ – средняя цена 1 кг условного топлива, долл. США/кг.

Чистая прибыль от использования микроГЭС:

$$\text{Ч}_{\text{п}} = \text{Ц} + \text{Д}_{\text{топливо}} - \text{З} [\text{долл. США}].$$

Сопоставительный экономический коэффициент эффективности:

$$E = \text{Ч}_{\text{п}} / \text{К}.$$

Срок окупаемости:

$$T_{\text{ок}} = 1/E, [\text{год}].$$

На основе созданной методики была разработана специальная программа на ЭВМ по определению технико-экономических параметров используемой микроГЭС на затворе ГТС.

Результаты

На рисунке 4 приведены характеристики зависимости расхода воды, напора и срока окупаемости от мощности гидроэнергетической установки полученные по результатам расчёта технико-экономических параметров микроГЭС на затворе ГТС.

Обсуждения

Проведённые исследования и расчёты позволили определить ряд технических и экономических показателей, которые позво-

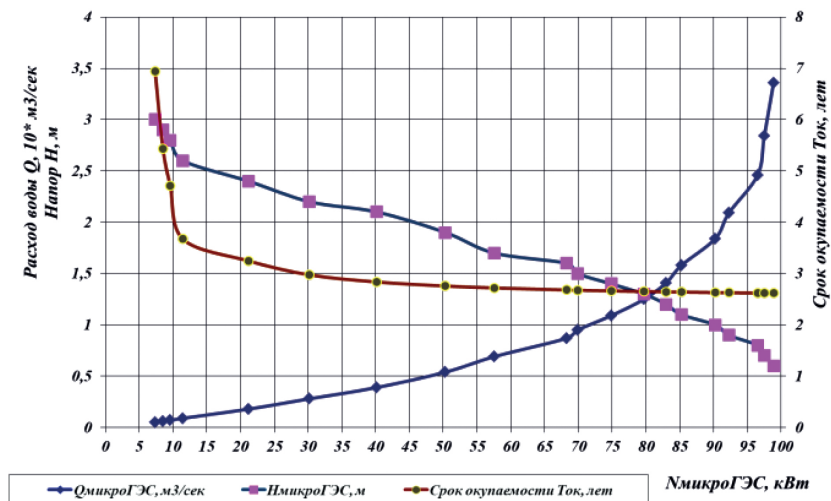


Рис. 4. График зависимости расхода воды, напора и срока окупаемости от мощности микроГЭС

ляют не только рекомендовать подходы к выбору параметров микроГЭС на ГТС, но и обосновывать их применение в конкретных условиях региона.

Так как из выше проведенных расчётов по определению технико-экономических параметров используемой микроГЭС на затворе ГТС можно сказать, что чем больше мощность микроГЭС тем, меньше срок её окупаемости, и соответственно её экономическая эффективность повышается.

Граничным значением мощности, при которой установка микроГЭС на затворах ГТС экономически эффективна, а срок окупаемости сравнительно мал, является мощность в 10 кВт.

Заключения

Проведённые расчётные исследования позволили на основе ряда технических и экономических показателей обосновывать применение использования микроГЭС в конкретных условиях региона.

Применение микроГЭС выгодно практически всегда там, где водотоки обеспечивают установку микроГЭС мощностью выше 10 кВт. При этом желательно разделить микроГЭС на две группы, первая группа – с мощностью до 10 кВт и вторая группа с мощностью более 10 кВт. МикроГЭС первой группы могут устанавливаться на малых водотоках, с расходом до 1 м³/с, а второй группы – на водотоках более 1 м³/с.

МикроГЭС второй группы с мощностью более 10 кВт могут устанавливаться практически на всех гидротехнических сооружениях с плоскими затворами, на многих водозаборных и водопропускных сооружениях гидроузлов, рек и каналов. На многих водозаборных и водопропускных сооружениях республики Узбекистан могут быть установлены микро-, мини- и малые ГЭС мощностью 100–500 кВт.

Энергетический потенциал гидротехнических затворов (точнее водных потоков, проходящих через них) водозаборных, водовыпускных и водопропускных сооружений малых речек, рек, каналов Узбекистана достаточен для их использования в целях совершенствования электроснабжения индивидуальных и фермерских хозяйств, малых предприятий путём создания микроГЭС.

С помощью использования микроГЭС на затворах гидротехнических сооружений можно решить вопросы энергообеспечения, энергоресурсо-сбережения, сохранения экологической чистоты и т. д.

Список литературы

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-3012 «О программе мер по дальнейшему развитию возобновляемой энергетики, повышению энергоэффективности в отраслях экономики и социальной сфере на 2017–2021 годы» от 26 мая 2017 года. (2017) http://www.lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=322189.

2. Мухаммадиев М., Уришев Б., Мамадиёров Э., Джураев К. С. Энергетические установки малой мощности на базе возобновляемых источников энергии : монография. – Т. : ТошДТУ, 2015.

3. Мухаммадиев М., Джураев К. С., Уришев Б. У. Повышение использования гидроэнергетического потенциала ирригационных сооружений

малой мощности с применением затворов новой конструкции // Журнал «Вестник ТашГТУ». – 2015. – № 2.

4. **Мухаммадиев М. М., Клычев Ш., Джураев К. С.** Исследование скорости потока воды в затворах гидроэнергетических и ирригационных сооружений // Журнал «Вестник СГАСУ: Градостроительство и архитектура». – 2016. – Выпуск № 2.

5. <http://www.gidroproekt.uz/> (2020)

6. Гидроэлектрические станции. Руководство для разработчиков и инвесторов, (2010) ww.ifc.org/wps/wcm/connect/06b2df8047420bb4a4f7e57143498e5/hydropower_report.pdf?mod=ajperes

7. **Сидоренко Г. И., Кудряшева И. Г., Пименов В. И.** Экономика установок нетрадиционных и возобновляемых источников энергии. Технико-экономический анализ : учеб. пособие / под общ. ред. В. В. Елистратова и Г. И. Сидоренко. – СПб. : Изд-во Политехи, ун-та, 2008.

8. Hydropower Technology Roadmap 2012. http://www.iea.org.2012_hydropower_roadmap.pdf (2012)

9. World Small Hydropower Development Report 2016. [www.unido.org/sites/default/files/\(2016\)11/wshpdr_executive_summary_2016_0.pdf](http://www.unido.org/sites/default/files/(2016)11/wshpdr_executive_summary_2016_0.pdf)

10. Renewable Power Generation Costs in 2018. https://www.irena.org/-/media/files/irena/agency/publication/2019/may/irena_renewable-power-generations-costs-in-2018.pdf

11. **Asmae Berrada, Zineb Bouhssine, Ameer Arechkik.** Optimisation and economic modeling of micro hydropower plant integrated in water distribution system // Journal of cleaner production. – 20 september 2019. – Volume 232.

12. **Muhammad Kamran, Rohail Asghar, Muhammad Mudassar, Muhammad Irfan Abid.** Designing and economic aspects of run-of-canal based micro-hydro system on Balloki-Sulaimanki link canal-i for remote villages in Punjab, Pakistan // Renewable Energy. – October 2019. – Volume 141.

13. **H. Bory, L. Vazquez, H. Martínez, Y. Majanne.** Symmetrical angle switched single-phase and three-phase rectifiers: application to micro Hydro Power Plants // Ifac-papersonline. – 2019. – Volume 52, issue 4.

14. **Petras Punys, Algis Kvaraciejus, Antanas Dumbrasukas, Linas Šilinis, Bogdan Popa.** An assessment of micro-hydropower potential at historic watermill, weir, and non-powered dam sites in selected eu countries // Renewable energy. – April (2019). – Volume 133.

15. **T. Ueda, E. S. Roberts, A. Norton, d. Styles, J. Gallagher.** A life cycle assessment of the construction phase of eleven micro-hydropower installations in the UK // Journal of cleaner production. – 1 may (2019). – Volume 218.

16. **Yanlai Zhou, Li-Chiu Chang, Tin-Shuan Uen, Shenglian Guo, Fi-John Chang.** Prospect For Small-Hydropower Installation Settled Upon Optimal

Water Allocation: An Action To Stimulate Synergies Of Water-Food-Energy Nexus // Applied energy. – 15 march (2019). – Volume 238.

17. **D. Singh**. “Micro hydro power”, resource assessment handbook (2009).

18. Small And Micro-Scale Hydropower in Japan. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01803429/document>

19. Small Hydro Power in India. <http://www.energynext.in/2017/03/small-hydro-power-in-india/>

20. **Мухаммадиев М., Уришев Б. У., Джураев К. С., Жураев С. Р. и др.** Водозаборное сооружение с гидроэлектростанцией. Патент UZ IAP № 05378, бюл. № 4, 28.04.2017. (2017)

21. **Shibabrata Choudhury, Adikanda Parida, Rajive Mohan Pant, Saibal Chatterjee**. GIS augmented computational intelligence technique for rural cluster electrification through prioritized site selection of micro-hydro power generation system // Renewable energy. – November (2019). – Volume 142.

22. **Hossein Iman-Eini, David Frey, Seddik Bacha, Cedric Boudinet, Jean-Luc Schanen**. Evaluation of loss effect on optimum operation of variable speed micro-hydropower energy conversion systems // Renewable energy. – February (2019). – Volume 131.

23. **Elie Bertrand Kengne Signe, Bachirou Bogno, Michel Aillerie, Oumarou Hamandjoda**. Performance in feasibility studies of micro hydro power plants. new software development and application cases in Cameroon // Energy procedia. – January (2019). – Volume 157.

24. **Гиргидов А. Д.** Механика жидкости и газа (гидравлика) : учебник. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Инфра-М, 2020.