УДК 620.9: 632.15

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОПЕРЕЧНО-СТРУЙНОЙ ГИДРОТУРБИНЫ МИКРО-ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ**

***Лепешкин А.Р., Захаров Ю.Ю.***

*Россия, г. Москва, НИУ-Московский энергетический институт*

*Существенная часть территории Российской Федерации в силу своего географического расположения не объята централизованным электроснабжением. В первую очередь это характерно для областей Сибири и Дальнего Востока, а также в горных районах Средней Азии и Кавказа, Казахстане и т.д. В этих областях очень невысокая плотность населения на больших, слабо освоенных в промышленном отношении территориях. Поэтому, даже имея сформированную энергетическую систему, есть большое количество удаленных потребителей малой мощности без электроэнергии. В данной работе приведены результаты исследований по методике расчета поперечно – струйной гидротурбины микро-гидроэлектростанции для электроснабжения потребителей малой мощности. Предложенную методику расчета можно использовать для предварительного анализа основных параметров поперечно струйной гидротурбины.*

***Ключевые слова****: микро-гидроэлектростанция,**потребители малой мощности,**дальность электропередачи*

Малые гидростанции относятся к возобновляемым источникам энергии, которые эффективно используются для электроснабжения удаленных потребителей [1].

Микро-гидроэлектростанции (МкГЭС) – один из самых первых видов ГЭС в истории создания гидроэнергетики. Они были образцом больших гидроэлектростанций и частенько выполняли функцию моделей больших гидротурбин. По мере активного формирования гидроэнергетики ее ключевые технические решения начали переноситься на малую гидроэнергетику [2]. В настоящее время в Российской Федерации (РФ) и в многочисленных иных странах к категории МкГЭС относятся гидроэлектрические станции мощностью меньше 100 кВт, при этом мощность одного гидроагрегата обычно не превышает 50 кВт. Грань в 100 кВт средь малых и микроГЭС установлена условна. Гидроэнергетический потенциал, используемый МкГЭС в РФ, намеренно не определялся. Как показали проведенные исследования в ПАО «РусГидро» технические возможности энергетического применения стока многочисленных малых рек (равнинных до 1.7, а горных до 2 тыс. кВт), может быть освоена МкГЭС.

Применительно к разным природным условиям можно указать два типа МкГЭС: реализующих потенциальную или кинетическую энергию водотока [3]. Образцами первого типа считаются МкГЭС с классическим оборудованием, русловые или деривационные, рукавные ГЭС (вариация деривационных). МкГЭС второго типа ставятся непосредственно в водотоке. Образцами их считаются гирляндные ГЭС конструкции Блинова Б.С. и др. [4], триллексная вертикальная Новикова Ю.М., штанговая плоскопараллельная, а также плоскоподъемная Логинова М.И. и Новикова Ю.М., торцевая мембранная, роторного типа и капсульные гидроагрегаты, используемые за рубежом.

Многочисленные зарубежные компании, к примеру, австрийские «Элин» и «Кесслер», шведская «Скандиа» и др., производят малогабаритные МкГЭС, целиком сделанные, смонтированные и испытанные на предприятии. Типовые гидроагрегаты состоят из гидротурбины, трансформатора, распределительных устройств, аппаратуры регулирования и управления и доставляются к месту установки в собранном виде. Большое число МкГЭС производится в КНР, оборудование стандартизовано и используется, начиная с мощности 12 кВт.

В целях эффективного использования энергии водотока деривационные водоводы должны обеспечивать пропуск необходимого количества воды с наименьшими потерями для работы МкГЭС. Деривационные водоводы могут быть выполнены по безнапорной или напорной схеме. Целесообразны водоводы, комбинированные из стационарных безнапорных железобетонных лотков и напорных стальных трубопроводов. Безнапорные лотки размещают в зависимости от рельефа местности: или на грунте, или на опорных конструкциях рис.1.



***Рисунок 1 – Схема деривационной МкГЭС: 1 – безнапорный участок водовода (лоток); 2 – опорная конструкция водовода; 3 – соединительная муфта; 4 – напорный участок водовода; 5 – гидротурбина МкГЭС***

Такие конструкции требуют незначительных грунтовых работ, которые, трудно осуществлять в скалистой горной местности. Водоводы изготавливают заблаговременно заводским способом. Напорный участок водовода (обычно стальной трубопровод) устанавливают непосредственно на спусках перед МкГЭС, он служит для создания необходимого напора непосредственно на поперечно – струйной гидротурбине. Эти участки имеют сравнительно небольшую протяженность.

При строительстве безнапорного участка деривации очень важен выбор уклона дна канала, от которого зависит скорость потока воды в нем. При малых скоростях потока водовод может заилиться или зарасти, а в зимнее время – образоваться шуга, ледяной покров и возникнуть заторы.

Заиление, шуга и лед, как правило, не возникают при скоростях воды:

|  |  |
| --- | --- |
| $$ϑ\_{бу}\geq \left|t^{0,06}\right| (м/с),$$ | (1) |

где $t$ – расчетная наименьшая температура наружного воздуха, °C.

В свою очередь, при больших скоростях воды имеются существенные потери напора и как следствие потеря мощности МкГЭС. Поэтому скорость водотока в деривации должна быть от 1,0 до 1,5 м/с.

Необходимый гидравлический уклон безнапорного участка, м/м, определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$i=\frac{ϑ\_{бу}^{2}}{C^{2}×r} ,$$ | (2) |

где $r$ – гидравлический радиус живого сечения безнапорного канала, м; $C$ – коэффициент Шези.

Гидравлический радиус живого сечения безнапорного канала, м, определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$r=\frac{S\_{бу}}{χ} ,$$ | (3) |

где $S\_{бу}$ – площадь сечения потока жидкости безнапорного участка, м2;

$χ$ – смоченный периметр, м.

Площадь сечения, м2, потока жидкости безнапорного участка определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$S\_{бу}=\frac{Q\_{ср}}{ϑ\_{бу}} ,$$ | (4) |

где $Q\_{ср}$ – среднегодовой расход воды, м3/с.

Длина стороны смоченной поверхности рис.2, м, определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$a=\sqrt{S\_{бу}} .$$ | (5) |



***Рисунок 2 – Разрез безнапорного участка водовода***

Смоченный периметр, м, определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$χ=3×a .$$ | (6) |

Во всех случаях расчета деривационных каналов МкГЭС коэффициент Шези определяется по формуле Н.Н. Павловского:

|  |  |
| --- | --- |
| $$C=\frac{1}{m}×r^{^{1}/\_{6}} ,$$ | (7) |

где $m$ – коэффициент шероховатости бетонных лотков.

Потеря напора, м, на безнапорном участке водовода определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$∆h=i×l ,$$ | (8) |

$l$ – длина безнапорного участка, м.

Тогда на входе в напорный участок напор воды, м, составляет:

|  |  |
| --- | --- |
| $$H=h\_{н}-∆h ,$$ | (9) |

где $h\_{н}$ – начальный скоростной напор, м.

Внутренний диаметр напорного трубопровода, м, определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$d\_{нт}=\sqrt{\frac{4×S\_{бу}}{π}} ,$$ | (10) |

где $π$ – математическая постоянная.

Средняя скорость, м/с, течения в напорном водоводе определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$ϑ\_{ну}=\frac{4×Q\_{ср}}{π×d\_{нт}^{2}} .$$ | (11) |

Длина напорного участка, м, определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$L=\frac{H}{cosα} ,$$ | (12) |

где $α$ – угол наклона напорного водовода в градусах.

Потери напора на напорном участке водовода определяем по формуле Дарси – Вейсбаха:

|  |  |
| --- | --- |
| $$∆H=λ×\frac{L}{d\_{нт}}×\frac{ϑ\_{ну}^{2}}{2×g} ,$$ | (13) |

где $λ$ – коэффициент сопротивление цилиндрической трубы;

$g$ – ускорение свободного падения, м/с2.

Коэффициент сопротивления цилиндрической трубы находим по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$λ=8×g×j^{2}×\left(\frac{4}{d\_{нт}}\right)^{3×\sqrt{j}},$$ | (14) |

где $j$ – коэффициент шероховатости железного трубопровода.

Тогда на входе в поперечно – струйную гидротурбину напор воды, м, составляет:

|  |  |
| --- | --- |
| $$H\_{т}=H-∆H.$$ | (15) |

Наружный диаметр рабочего колеса поперечно – струйной гидротурбины, м, определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$d=\sqrt{\frac{Q\_{ср}}{\sqrt{H\_{т}}}} ,$$ | (16) |

Ширина рабочего колеса, м, определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$b=\frac{Q\_{ср}}{0,42×d×\sqrt{H\_{т}}} .$$ | (17) |

Определим ширину, м, направляющей лопатки поперечно – струйной гидротурбины:

|  |  |
| --- | --- |
| $$c=0,8×b.$$ | (18) |

Определим высоту, м, направляющей лопатки поперечно – струйной гидротурбины:

|  |  |
| --- | --- |
| $$x=\frac{Q\_{ср}}{0,98×c×\sqrt{2×g×H\_{т}}} .$$ | (19) |

Частота вращения вала рабочего колеса, об/мин, поперечно – струйной гидротурбины определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$n=\frac{30×\sqrt{2×g×H\_{т}}}{π×d} .$$ | (20) |

Мощность, кВт, поперечно – струйной гидротурбины на валу определяем по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$N=9,81×Q\_{ср}×H\_{т}×ɳ ,$$ | (21) |

где $ɳ$ – КПД поперечно – струйной гидротурбины, %.

Момент, Н·м, на валу поперечно – струйной гидротурбины определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| $$M=\frac{9550×N}{n} .$$ | (22) |

**Выводы**

Отсутствие в настоящее время в РФ методологических положений не позволяет дать рекомендации к применению промышленных установок МкГЭС, хотя предварительные подсчеты показывают, что использование МкГЭС вместо дизельных и бензоэлектрических агрегатов дает высокий экономический эффект [6-8]. В данной работе представлены результаты исследования по методике расчета поперечно – струйной гидротурбины микро-гидроэлектростанции для электроснабжения потребителей малой мощности. Предложенную методику расчета можно использовать для предварительного анализа основных параметров поперечно струйной гидротурбины. Потребность в МкГЭС велика, а условия применения чрезвычайно разнообразны – от объектов, расположенных на больших высотах в горных районах Средней Азии, до мелких равнинных водотоков в суровых условиях Якутии.

Список литературы

1. Марченко О. В., Соломин С. В. Комплексное использование возобновляемых источников энергии разных типов для совместного производства электричества и тепла // Промышленная энергетика. 2018. № 5. – С. 52-57.

2. Михайлов Л.П., Фельдман Б.Н., Марканов Т.К. и др. Малая гидроэнергетика – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 184 с.

3. Лепешкин А.Р., Качанов А.Н. Применение микроГЭС различных конструкций для повышения эффективности электроснабжения малых потребителей // Энерго- и ресурсосбережение – ХХI век.: Сборник материалов VIII-ой международной научно-практической конференции. Орел ГТУ: Издательский Дом “Орлик“ и К, 2011. – С. 54-57.

4. Блинов Б.С. Гирляндная ГЭС – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 64 с.

5. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]; Под ред. П.Г. Киселева. – М: Энергия, 1972. – 312 с.

6. Кусков А.И. Разработка и исследование мобильной гидротурбинной установки для энергообеспечения и водоснабжения сельскохозяйственных объектов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. / Кусков Александр Иванович; ФГБНУ ФИЭСХ. – Москва, 2015. – 111 с.

7. Свист П.П. Разработка микро-ГЭС с асинхронными генераторами для сельскохозяйственных потребителей: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. / Свист Павел Петрович; ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова». – Барнаул, 2007. – 246 с.

8. Качанов А.Н., Бычков Н.М., Горелов В.П. Гидроагрегат для выработки энергии на малых реках// Научный журнал. Ученые записки Павлодарского государственного университета/ Павлодарский гос. ун-т. им. С. Торайгырова. – Павлодар: Изд-во ПГУ, № 1, 1999. – С. 40-44.

**Лепешкин Александр Роальдович**, академик АЭН РФ, доктор технических наук, профессор кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ». 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. Е-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

**Захаров Юрий Юрьевич,** аспирант кафедры ЭППЭ НИУ «МЭИ». 111250, г. Москва, ул. Красноказарменная, д. 14. E-mail: zaharov.uu@mail.ru.

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

UDC УДК 620.9: 632.15 **METHOD OF CALCULATION OF A CROSS-JET HYDRAULIC TURBINE OF A MICRO-HYDROELECTRIC POWER STATION FOR POWER SUPPLY OF SMALL POWER CONSUMERS**

***Lepeshkin A.R., Zakharov Y.Y.***

*Russia, Moscow, NRU Moscow Power Engineering Institute*

*Due to its geographical location the essential part of the Russian Federation territory does not have the centralized power supply. First of all, this is true about the Siberian region and the Far East, as well as some mountainous areas of Central Asia and the Caucasus, Kazakhstan and so on. In these areas there is a very low population density on big and industrially undeveloped areas. That is why, even with the presence of the formed electric system there is a big quantity of remote low power consumers without electrical power. The present research presents the results of studies on the method of calculation of a cross-jet hydraulic turbine of a* *micro-hydroelectric power station for power supply of small power consumers. The proposed method of calculation can be used for the preliminary analysis of basic parameters of a cross-jet hydraulic turbine.*

***Keywords:*** *micro-hydroelectric power station, low power consumers, distance of electro transmission*

Bibliography

1. Marchenko O.V., Solomin S.V. Complex usage of renewable energy sources of different types for combined production of electricity and heat. // Industrial energy. 2018. № 5. – p. 52-57.

2. Mikhailov L.P., Feldman B.N., Markanov T.K. and others Malaya Gidroenergetika [Small Hydropower], edited by Mikhailov L.P. – M.: Energoatomizdat Publ., 1989. – p. 184.

Blinov B.S. Girlyandnaya GES [Daisy Chain Hydro Electro Station] – М.-L.: Gosenergoizdat Publ., 1963. – p. 64.

3. Lepeshkin A.R., Kachanov A.N. Application of various designs of micro-hydroelectric power stations to increase the efficiency of power supply to small power consumers//Energy and resource saving - XXI century.: Digest of the VIII international scientific and practical conference. Orel GTU: Publishing House "Orlik" and Co, 2011. - p. 54-57.

4. Blinov B.S. *Girlyandnaya GES* [Daisy Chain Hydro Electro Station] – М.-L.: Gosenergoizdat Publ., 1963. – p. 64.

5. Manual on Hydraulic Calculations/P.G. Kiselev [and others]; Ed. P.G. Kiseleva. - M: Energia 1972. – p. 312.

6. Kuskov A.I. Razrabotka i issledovanie mobilnoy gidroturbinnoy ustanovki dlya energoobespecheniya i vodosnabzheniya selskokhozyaistvennikh obiektov [Development and research of the mobile hydro turbine equipment for energy and water supply of agricultural objects]: Thesis Research of the PhD in Technical Sciences: 05.20.02. / Kuskov Aleksandr Ivanovich; FGBNY FIESKh [Federal State Budget Scientific Institution ‘All-Russian Research Institute of Electrification of Agriculture’] – Moscow, 2015. – p. 111.

7. Svist P.P. Razrabotka mikro-ges s asinkhronnimy generatoramy dlya selskokhozyaistvennikh potrebiteley [Development of micro-hydro-electro stations with asynchronous generators for agricultural consumers]: Thesis Research of the PhD in Technical Sciences: 05.20.02. / Svist Pavel Petrovich; GOY VPO ‘Altayskiy Gosydarstvenniy tekhnicheskiy universitet imeny I.I. Polzunova’ [Polzunov Altai State Technical University] – Barnaul, 2007. – p. 246.

8. Kachanov A.N., Bychkov N.M., Gorelov V.P. Hydraulic unit for power generation on small rivers // Scientific journal. Scientific notes of Pavlodar State University / Pavlodar State University named after S. Toraigyrov. - Pavlodar: PSU Publishing House, No. 1, 1999. – P. 40-44.

**Lepeshkin Alexander Roaldovich**, AEN Academician of the Russian Federation, doctor of technical sciences, professor of EPPE Department of NRU "MEI". 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya, 14. E-mail: lepeshkin.ar@gmail.com.

**Zakharov Yurii Yurievich**, postgraduate student of EPPE Department of NRU "MEI". 111250, Moscow, Krasnokazarmennaya, 14. E-mail: zaharov.uu@mail.ru